UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**OCUPAÇÃO TERRITORIAL E QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM MACIÇO FRATURADO NA
REGIÃO DE ITAQUERA, SÃO PAULO - SP**

VALDENEIDE REGINA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome
Presidente:	Prof. Dr. Fabio Taioli
Examinadores:	Prof. Dr. Luiz Roberto Cottas
	Prof. Dr. Uriel Duarte

Assinatura

SÃO PAULO
2000

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**OCUPAÇÃO TERRITORIAL E QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM MACIÇO FRATURADO
NA REGIÃO DE ITAQUERA, SÃO PAULO - SP**

Valdeneide Regina da Silva

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2000

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004369

Jesus disse, em resposta, à samaritana: "Todo aquele que beber desta água ficará novamente com sede. Quem beber da água que eu lhe der, nunca mais ficará com sede, mas a água que eu lhe der se tornará nele uma fonte de água que borbulha para dar vida eterna".

(João 4:13,14)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Taioli pela orientação exemplar, sugestões, críticas e incentivo, além da compreensão e amizade desde o início da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Ginaldo A. Campanha pela orientação no levantamento de campo e tratamento de dados estruturais, incluindo dicas sobre programas computacionais (stereoNet e TRADE) e pelas sugestões.

Ao Prof. Dr. Uriel Duarte, pelo empréstimo de materiais (*papers* e equipamentos de campo), pelas dicas e amizade.

Ao Prof. Dr. Ricardo C. A. Hirata pelas discussões e sugestões sobre hidrogeologia, pelos materiais cedidos (*papers*) e equipamentos emprestados (pHmetro e condutivímetro).

Ao amigo e Prof. Dr. Néelson Angeli, da UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP (Campus Rio Claro), pelas correções de texto e incentivo ao trabalho.

À FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP, pelo financiamento da pesquisa (processo 97/11450-2).

À COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, pela bolsa de estudos concedida no período de dois anos.

Ao CENTRO DE PESQUISAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (CEPAS/IG-USP), pelo empréstimo de material (relatório e mapas) e pelo financiamento das análises químicas realizadas em um de seus laboratórios (Laboratório de Hidrogeoquímica II).

À JUNDSONDAS - POÇOS ARTESIANOS LTDA pela concessão de dados técnicos referentes aos poços tubulares perfurados na área de estudo.

O meu agradecimento especial a uma das pessoas que muito contribuiu para este trabalho, o colega de pós-graduação deste instituto e geólogo da COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CDHU), Flávio Almeida da Silva, pelos trabalhos realizados em conjunto (especialmente os relacionados à análise estrutural), pelos materiais cedidos e emprestados, pelas discussões e sugestões, além da amizade.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - Considerações iniciais	1
1.2 – Objetivos	2
2 - ÁREA DE ESTUDO	3
2.1 - Localização e vias de acesso	3
2.2 - Geomorfologia	5
2.3 - Hidrografia	6
2.4 - Clima	10
2.5 - Histórico de uso e ocupação	10
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 - Quadro geológico regional	15
3.1.1 - Aspectos litoestratigráficos	15
3.1.2 - Aspectos tectônicos e estruturais	17
3.1.3 - Evolução tectônica cenozóica	20
3.2 - Geologia local	22
3.3 - Análise cinemático-estrutural	24
3.3.1 - Determinação da direção e sentido do movimento em falhas rúpteis	24
3.3.1.1 - Método Arthaud	24
3.3.1.2 - Método dos diedros retos ou Método de Angelier	25
3.3.2 - Aplicação em estudos de hidrogeologia	26
3.4 - Hidrogeologia	27
3.4.1 - Importância e uso das águas subterrâneas	27
3.4.2 - Hidrogeologia de aquíferos fraturados	28
3.4.2.1 - Generalidades	28
3.4.2.2 - Fatores que atuam na capacidade de armazenamento de água	30
3.4.2.2.1 - Fatores endógenos	30

Aos amigos e colegas da pós-graduação do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA), especialmente à amiga e geóloga Sílvia Maria Ferreira, pela sua amizade e incentivo ao trabalho, além de todas as ajudas práticas prestadas.

À geóloga Patrícia Braga Toledo lezzi pelo apoio nos trabalhos de campo, principalmente durante a fase de coleta de amostras de água.

Aos alunos de graduação em geologia e estagiários desse instituto, Diego Romano e Sidney Schaberle Goveia, pelos trabalhos referentes à digitalização e edição de figuras em autoCad e confecção de mapas no SIG (Sistema de Informação Geográfica) idrisi, respectivamente.

Aos funcionários Reynaldo Peña Castellon (DGG) pela digitalização e edição de figuras em autoCad, Sérgio Ataíde (CEPAS/IG-USP) pela ajuda nos trabalhos de campo, à bibliotecária Maristela Prestes Severino (biblioteca IG-USP) pela normalização das referências bibliográficas e aos funcionários da gráfica pelo capricho nos serviços prestados.

Aos meus pais queridos pais pelo carinho, compreensão e apoio durante todo o curso e ao meu querido irmão pelo auxílio na fase final do trabalho.

3.4.2.2.2 - Fatores exógenos	34
3.4.2.3 - Fluxo em meios fraturados	37
3.4.2.3.1 - Generalidades	37
3.4.2.3.2 - Fluxo em maciços rochosos	41
3.4.3 - Características hidrogeológicas do aquífero cristalino da RMSP	46
4 - MATERIAL E MÉTODOS	48
4.1 - Levantamento geológico	48
4.2 - Levantamento do uso e ocupação territorial	49
4.3 - Levantamento hidrogeológico	49
4.3.1 - Cadastramento de poços e pontos d'água	49
4.3.2 - Análises químicas	50
5 - TRABALHOS REALIZADOS	54
5.1 - Levantamento geológico	54
5.1.1 - Caracterização geológica da área	54
5.1.2 - Análise estrutural	57
5.1.2.1 - Análise cinemático-estrutural	64
5.2 - Levantamento do uso e ocupação territorial	69
5.3 - Levantamento hidrogeológico	82
5.3.1 - Cadastramento de poços e pontos d'água	82
5.3.1.1 - Características dos poços	85
5.3.1.1.1 - Profundidade	85
5.3.1.1.2 - Aspectos construtivos e de conservação dos poços	85
5.3.1.2 - Produção dos poços	88
5.3.1.2.1 - Vazão e capacidade específica	88
5.3.1.3 - Características dos aquíferos	88
5.3.1.3.1 - Profundidade das entradas de água	88
5.3.1.3.2 - Nível estático	89
5.3.2 - Análises químicas	89
5.3.2.1 - Verificação da validade das análises	89
5.3.2.2 - Parâmetros físicos	93
5.3.2.2.1 - Temperatura	93
5.3.2.2.2 - Condutividade elétrica	94
5.3.2.3 - Parâmetros químicos	96
5.3.2.3.1 - pH e Eh	97
5.3.2.3.2 - Alcalinidade	97

5.3.2.4 - Classificação das águas	98
5.3.2.5 - Qualidade das águas	10
6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	110
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	4
Figura 2 - Mapa de relevo da área de estudo.	7
Figura 3 - Mapa de declividade da área de estudo.	8
Figura 4 - Sub-bacias hidrográficas da área de estudo e suas localizações na Bacia do Alto Tietê.	9
Figura 5 – Distribuições mensais das chuvas na região de Itaquera/Guaianazes, no período de 1995 a 1999.	11
Figura 6 – Principais falhamentos transcorrentes do embasamento cristalino do Estado de São Paulo (IPT, 1981b).	18
Figura 7 - Mapa geológico da folha Mauá - parcial (CEPAS, 1994).	23
Figura 8 - Bloco diagrama mostrando um bloco falhado e a posição dos eixos X, Y e Z, no conceito de Arthaud (1969).	24
Figura 9 - Plano M, no conceito de Arthaud (1969).	25
Figura 10 - Esquema dos diedros retos de compressão (C) e de extensão (E) numa região afetada pela falha PF. Notar que o PA é ortogonal às estrias (S) e não ao mergulho real da falha (m).	25
Figura 11 - Esquema do princípio elementar do método dos diedros retos mostrando um esquema em extensão. O somatório das duas primeiras figuras vai dar a última.	26
Figura 12 – Quando o estado de tensões atuante corresponde ao representado pelos eixos a, b, c, podem se desenvolver fraturas de cisalhamento (hk_0 de Sander) ou de tração ($\underline{ac}$) (COSTA & SILVA, 1997).	33
Figura 13 – Fraturamento em dobras de grande raio de curvatura. A fratura mais central coincide com o plano axial e contém a crista da dobra (fratura $\underline{bc}$ de Sander). As demais desse tipo (paralelas a $\underline{bc}$) apresentam ligeiro mergulho para o centro da dobra (COSTA & SILVA, 1997).	33
Figura 14 – Fraturas longitudinais desenvolvidas ao longo dos planos de xistosidade por alívio de pressão (COSTA & SILVA, 1997).	34
Figura 15 – Esquema da formação das juntas de descompressão ou "sheet joints". Por erosão, a tensão σ_3 passa de compressiva para tracional, acarretando o fendilhamento paralelo à superfície topográfica (COSTA & SILVA, 1997).	34
Figura 16 - Tipos de infiltração e preenchimento de fraturas: (a) o material de preenchimento provém da própria rocha; (b) o material infiltrou-se em meio aquoso superficial decantando dentro da fratura; (c) o material entrou	

em solução a partir da superfície; (d) percolação por solução hidrotermal (COSTA & SILVA, 1997).	37
Figura 17 – Comportamento esperado da permeabilidade em diferentes litologias em função da profundidade (AZEVEDO & ALBUQUERQUE, 1998).	40
Figura 18 - Maciço rochoso fraturado, evidenciando os parâmetros de interesse ao fluxo (RISSLER, 1978 <i>apud</i> QUADROS, 1982).	41
Figura 19 - Elipsóide de condutividade hidráulica num sistema de referência X, Y, Z (QUADROS, 1992).	42
Figura 20 - Conceito de Volume Elementar Representativo (V.E.R.) (BEAR, 1972).	44
Figura 21 - Trajetórias de fluxo nos ensaios direcionais. Esquematização para três furos e quatro trechos de ensaios e observação (QUADROS, 1992).	45
Figura 22 - Mapa geológico da área de estudo (modificado de CEPAS, 1994).	55
Figura 23 – Vista geral de perfil de intemperismo de xisto e/ou filito, num corte de estrada (afloramento 3).	56
Figura 24 - Afloramento de granito-gnaiss, em cava de pedreira, mostrando a pequena espessura do manto de intemperismo desenvolvida por este litotipo (afloramento 9). Altura aproximada do afloramento = 8 a 10 metros.	57
Figura 25- Mapa de lineamentos a partir de fotografia aérea (foto 331, faixa 8C).	58
Figura 26 - Diagramas de rosáceas mostrando as direções predominantes dos lineamentos em relação ao tamanho (a) e ao número (b) de lineamentos.	59
Figura 27 - Diagrama de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) com os polos dos planos de bandamento do granito-gnaiss e dos planos de xistosidade dos filitos e xistos.	60
Figura 28 - Diagrama de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) com os polos dos planos das fraturas medidas no granito-gnaiss.	61
Figura 29 - Diagrama de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) com os polos dos planos das fraturas medidas nos filitos e xistos.	61
Figura 30 – Diagrama de contorno de densidade de polos dos planos de fraturas do granito-gnaiss.	62
Figura 31 – Diagrama de contorno de densidade de polos dos planos de fraturas dos filitos e xistos.	62

Figura 32 – Ressaltos em espelho de falha, em granito-gnaiss, indicando movimento dextral. A seta indica o sentido do movimento do bloco de cima (Figura 22 – afloramento 9).	64
Figura 33 – Ressaltos em espelho de falha, em granito-gnaiss, indicando movimento sinistral. A seta indica o sentido do movimento do bloco de cima (Figura 22 – afloramento 9).	65
Figura 34 – Ressaltos em plano de fratura, em bolsão pegmatítico, indicando movimento sinistral. A seta indica o sentido do movimento do bloco da frente (Figura 22 – afloramento 14).	65
Figura 35 – Ressaltos em plano de fratura, em granito-gnaiss, indicando movimento sinistral. A seta indica o sentido do movimento do bloco da frente (Figura 22 – afloramento 14).	66
Figura 36 - Análise pelo Método de Angelier das falhas geradas por um campo principal de esforço (σ_1) horizontal e N-S.	67
Figura 37 - Análise pelo Método de Angelier das falhas geradas por um campo principal de esforço (σ_1) horizontal e E-W.	68
Figura 38 – Mapa de lineamentos com indicação das prováveis fraturas abertas (foto 331, faixa 8C).	70
Figura 39 - Mapa de uso e ocupação da área de estudo (IEZZI, 1999).	71
Figura 40 - Mapa de localização das empresas e/ou estabelecimentos visitados.	73
Figura 41 - Local de lavagem e recuperação de tambores localizado em área de várzea, mostrando pontos de alagamento.	76
Figura 42 - Armazenamento irregular de sacos plásticos, contendo areia de fundição e produtos químicos, em depósito de tambores e bombonas.	76
Figura 43 - Borda da APA Mata do Iguatemi mostrando o ressecamento da vegetação devido a atividades antrópicas desenvolvidas em terreno adjacente onde se realizava a atividade de lavagem e recuperação de tambores (ponto 89 - <i>Ranchonete do Gaúcho</i>).	77
Figura 44 - Mapa de localização de fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.	78
Figura 45 - Câmaras de tratores e de caminhões dispostos irregularmente na margem da estrada U. (Figura 44 – ponto 2)	80
Figura 46 - Ponto de descarte de resíduos sólidos onde se observam pneus, materiais plásticos (potes e fitas) e entulho (madeira e terra). (Figura 44 – ponto 3)	80
Figura 47 - Lã de vidro parcialmente queimada disposta irregularmente num ponto de descarte de resíduos próximo à estrada U. (Figura 44 – ponto 4)	81

Figura 48 - Ponto de descarte de resíduos na margem da estrada U, com disposição irregular de meias, embalagens plásticas e troncos de árvore. No fundo, reflorestamento de eucaliptos. (Figura 44 – ponto 5)	81
Figura 49 - Mapa de localização dos poços e pontos d'água cadastrados.	83
Figura 50 – Distribuição dos poços tubulares de acordo com os tipos de estabelecimentos instalados na área.	84
Figura 51 – Distribuição dos poços cacimbas de acordo com os tipos de estabelecimentos instalados na área.	84
Figura 52 – Frequência de distribuição das profundidades dos poços tubulares. (número de poços = 30)	85
Figura 53 – Frequência de distribuição das profundidades dos poços cacimbas. (número de poços = 89)	86
Figura 54 - Aspecto de preservação do poço 95 - <i>Recicladora de Sucatas Rodoplast</i> , mostrando o uso de pedaços de telha para cobrir o poço na ausência de tampa.	87
Figura 55 – Perfil hidrogeológico 1 (localização Figura 49).	90
Figura 56 – Perfil hidrogeológico 2 (localização Figura 49).	91
Figura 57 - Classificação química das águas subterrâneas da área de estudo.	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os coeficientes de permeabilidade de algumas rochas e de um maciço rochoso fraturado (QUADROS, 1982).	38
Tabela 2 – Comparação entre populações de dados de fraturas obtidas em fotografia aérea e no campo.	63
Tabela 3 – Direções do esforço principal σ_1 em função do número de estruturas observadas.	69
Tabela 4 - Atividades industriais na área "Passagem Funda" e suas irregularidades. Compilado a partir de PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996).	75
Tabela 5 – Valores de vazão e capacidade específica dos poços tubulares.	88
Tabela 6 - Resultados de erros analíticos obtidos através das diferentes formas de cálculo do balanço iônico em relação às fases de coleta (dados em porcentagem de número de amostras).	93
Tabela 7 – Condutividades elétricas das águas da área de estudo.	95
Tabela 8 - Comparação entre as concentrações normais de íons nas águas subterrâneas, segundo CUSTODIO & LLAMAS (1996), e as concentrações encontradas nas águas da área de estudo.	96
Tabela 9 - Legislação e regulamentação dos valores máximos permitidos para consumo humano e outros fins.	101

RESUMO

A área de estudo localiza-se na região de Itaquera, zona leste do Município de São Paulo e inclui a área denominada Fazenda do Carmo, na qual estão sendo implantados conjuntos habitacionais da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), destinados a atender a população de baixa renda. Visto que a população da área é servida apenas parcialmente pela rede pública de abastecimento de água, uma alternativa seria a utilização de água subterrânea, assim, se propôs neste trabalho, fornecer informações acerca das condições hidrogeológicas, principalmente em termos qualitativos, do aquífero cristalino, no qual está inserida a área, com o objetivo de se conhecer a viabilidade ou não de utilização da água subterrânea pela população que irá ocupar os conjuntos habitacionais da área Fazenda do Carmo.

A metodologia empregada neste estudo envolveu três tipos de levantamento na escala 1:10.000: o levantamento geológico, o levantamento de uso e ocupação da área e o levantamento hidrogeológico. O levantamento geológico incluiu o uso de fotografias aéreas e trabalhos de campo voltados principalmente à caracterização estrutural da área, aplicando-se o método de Angelier para a determinação da direção do esforço máximo principal (σ_1) atuante na região, através do qual se pôde determinar as estruturas mais favoráveis à prospecção de água subterrânea na área de estudo. O levantamento de uso e ocupação da área abrangeu o cadastramento de empresas e estabelecimentos existentes e o cadastramento de fontes potenciais de contaminação da água subterrânea, através da interpretação de fotografias aéreas e trabalhos de campo. O levantamento hidrogeológico envolveu o cadastramento de poços e pontos d'água e o levantamento simultâneo de dados relacionados principalmente ao uso da água, à produção dos poços e aos aspectos construtivos e de conservação dos poços, além da análise de parâmetros físico-químicos das águas.

A área de estudo é formada basicamente por rochas cristalinas de idade proterozóica do Grupo Açungui (filitos e xistos) e granitóide intrusivo (granito-gnaiss). A ocorrência da água subterrânea se dá através de dois aquíferos distintos: o aquífero poroso (manto de intemperismo e coberturas alóctones) e o aquífero fraturado (rocha sã fraturada). As águas do aquífero poroso são explotadas quase exclusivamente por poços cacimbas e o aquífero fraturado exclusivamente por poços tubulares, sendo usadas predominantemente para atividades industriais, consumo doméstico (incluindo consumo humano) e irrigação. Os filitos e xistos constituem as rochas mais favoráveis ao armazenamento de água na área de

estudo, as quais desenvolvem um relativamente espesso manto de intemperismo (cerca de 54 metros), que deve estar funcionando como reservatório de água interligado ao aquífero fraturado. Os poços tubulares perfurados nestas rochas apresentam vazões médias de 4,65 m³/h. O uso e ocupação da área é de caráter diversificado, porém com predominância dos setores residenciais, comerciais e industriais, aos quais se relacionam diversas atividades potencialmente contaminadoras das águas subterrâneas. O maior problema de contaminação foi evidenciado pelas altas concentrações de nitrato que devem ser provenientes tanto de fossas como dos próprios rios (nos quais os esgotos são lançados diretamente). Esta situação poderá ser controlada com a implantação de rede de saneamento básico, existente, hoje, em apenas alguns locais. Quanto à utilização da água subterrânea pela população da área Fazenda do Carmo, conclui-se que é viável apenas como fonte complementar de abastecimento.

ABSTRACT

The studied area is located in the eastern region of São Paulo city, in the Itaquera neighborhood. In this region the Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo – CDHU (one of the agencies which is in charge of supplying housing for the low income population) has been developing a project to settle more than 3.000 families.

The present thesis is intended to improve the knowledge about the fractured aquifer in the region, to know groundwater feasibility use to supply the new population.

The study, in the 1:10.000 scale included a geological, landuse and qualitative hydrogeological surveys.

The geological survey was focused, mainly, on structural characterization in order to determine the most suitable fracture families for groundwater exploration.

The landuse survey covered industries, commerce and other activities present in the area, as well as the cataloguing of potencial contamination sources.

The hydrogeological survey consisted in the cataloguing of the wells and theirs production, constructive and conservation aspects and physical-chemical characteristics of the water.

The area is formed basically by proterozoic rocks of the Açungui Group (schists and granite-gneiss). It was found that the groundwater occurs either in the porous aquifer (weathering soil and quaternary sediments) or in the fractured aquifer.

The groundwater of the porous aquifer is exploited almost only by excavated wells. Otherwise, the groundwater of the fractured aquifer is exploited by deep wells and is destined to industrial supply, irrigation and human consumption.

The schists are the most productive rock, due to the relatively thick weathering soil covering (about 58 meters) that should work as a reservoir connected to the fractured aquifer. The deep wells in these rocks presented flows of about 4,65 m³/h.

The landuse of the area is diversified but predominates residential, commercial and industrial sectors. These occupations present several potential contaminant activities which might compromise the groundwater quality.

However, the major contaminant problem (high nitrate concentration) was found to be related to the lack of basic sanitary conditions practly in the whole area.

It is suggested that the groundwater might be used as complementary source to attend the population that will be settled in the area.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações iniciais

Durante as últimas décadas a utilização das águas subterrâneas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) vem crescendo de forma acelerada, principalmente para abastecimento industrial/comercial e, secundariamente para auto-consumo doméstico domiciliar ou coletivo, para fins comerciais, abastecimento público de conjuntos habitacionais situados em áreas fora do alcance técnico-econômico da rede de distribuição, ou como reforço de abastecimento de condomínios urbanos (CEPAS, 1994), devido aos baixos custos e a excelente qualidade natural associados às águas subterrâneas.

No final da década de 80, o governo do Estado de São Paulo estabeleceu um Plano de Assentamento Habitacional de 20.000 unidades na RMSP (CDH,1987), destinadas principalmente ao atendimento da população de baixo poder aquisitivo. Dentro deste plano, foi prevista a implantação de mais de 6.000 unidades habitacionais na área denominada “Fazenda do Carmo”, localizada na zona leste do Município de São Paulo, de propriedade do governo estadual. Em 1987, a área “Fazenda do Carmo” foi desapropriada pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo - CDHU (decreto nº 26.967 - 27/04/1987), para a realização dos empreendimentos habitacionais que hoje contabilizam 3.224 unidades construídas e ocupadas, dentre as 7.641 unidades projetadas (SILVA, 2000).

Atualmente, a população que já reside nestes conjuntos é servida pela rede de distribuição de água da SABESP, contudo uma alternativa de suprimento de água para a população que irá habitar estes conjuntos poderia ser a utilização de água subterrânea. Para se verificar a viabilidade ou não de utilização da água subterrânea nesta região são necessários estudos hidrogeológicos, que visem, principalmente, o caráter qualitativo dessas águas, visto que em aquíferos cristalinos a velocidade de percolação de fluidos pode ser muito alta e assim oferecer um grande risco de contaminação às águas subterrâneas.

Desta forma, se propôs desenvolver o presente trabalho visando fornecer tais informações, incluindo o estudo do uso e ocupação na região quanto ao potencial poluidor.

1.2 – Objetivos

Os principais objetivos desta pesquisa são:

- caracterização do uso e ocupação da área de estudo;
- identificação de eventuais áreas ou fontes que possam oferecer risco à qualidade da água dos poços perfurados na área de estudo;
- avaliação das condições hidrogeológicas em termos qualitativos do aquífero cristalino;
- proposição de diretrizes de proteção.

2 – ÁREA DE ESTUDO

2.1 – Localização e vias de acesso

A área de estudo situa-se na região de Itaquera, zona leste do Município de São Paulo, distante cerca de 2 km da divisa com o Município de Ferraz de Vasconcelos. Possui área total de aproximadamente 27,5 km², sendo que 1,7 km² desse total pertence à CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo) e será referida, neste trabalho, como área Fazenda do Carmo. Esta última possui na sua região central uma Área de Proteção Ambiental - a APA Mata do Iguatemi (decretada pela Lei Estadual nº 8.284, de 2 de abril de 1993) (Figura 1).

A área insere-se em quatro folhas topográficas do levantamento aerofotogramétrico realizado por EMPLASA, no Município de São Paulo, em 1993, na escala 1:10.000, articuladas da seguinte forma:

Articulação	
4313	4314
4315	4316

- folha 4313: Cidade Líder;
- folha 4314: Guaianazes;
- folha 4315: São Mateus;
- folha 4316: Rio dos Cochos.

De acordo com o sistema de coordenadas geográficas dessas folhas topográficas, a área de estudo está limitada pelas seguintes coordenadas UTM:

- coordenada 7394500 m (a norte);
- coordenada 7389000 m (a sul);
- coordenada 357000 m (a leste);
- coordenada 352000 m (a oeste).

Figura 1 – Localização da área de estudo.

O sistema viário local é constituído por 3 (três) vias principais: no sentido norte-sul a Estrada do Iguatemi, na porção leste da área, que dá acesso a Guaianazes, a Avenida Jacu-Pêssego, na extremidade oeste da área, que dá acesso a Itaquera e no sentido leste-oeste a Avenida Ragheb Chohfi, na extremidade sul, ligando as duas estradas anteriores.

2.2 - Geomorfologia

De acordo com a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo, por ALMEIDA (1964), a RMSP ocupa o compartimento de relevo denominado Planalto Atlântico, zona Planalto Paulistano. O Planalto Paulistano apresenta relevo suavizado de morros e espigões de modesta altura, variando entre 715 e 900 m. É constituído em sua maior parte de filitos, micaxistos, gnaisses, migmatitos de vários tipos e de pequenas intrusões graníticas, além dos sedimentos cenozóicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, que se alojam no trecho centro-norte do planalto. A origem do Planalto Paulistano está ligada à destruição da superfície Japi (antiga superfície Sul Americana de erosão) e ao estabelecimento, durante o Terciário, da superfície de erosão do Alto Tietê.

Segundo a classificação geomorfológica do IPT (1981a), a área de estudo situa-se no Planalto Atlântico, na sub-zona da Morraria do Embu, em terrenos predominantemente cristalinos. A região é caracterizada por relevo de morros (amplitudes entre 100 e 300 m, e declividades médias a altas - acima de 15%). As elevações possuem topos arredondados e as drenagens são de alta densidade, com vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas.

Segundo ROSS & MOROZ (1997), a área de estudo situa-se na unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico (Planalto Paulistano/Alto Tietê), nas suas porções mais altas. Dentro dessa unidade ocorre ainda a unidade morfoestrutural das Bacias Sedimentares Cenozóicas/Depressões Tectônicas (Planalto São Paulo), representada pelas porções mais baixas, mais próximas ao Rio Tietê. Quanto às formas, ROSS & MOROZ (1997) descrevem o relevo como formas denudacionais predominantemente convexas, com dimensões interfluviais médias (750 a 1.750 m) e grau de entalhamento muito fraco (<20 m) a fraco (20 a 40 m).

Especificamente na área de estudo, o relevo é bastante acidentado com amplitude altimétrica de até 100 metros. As maiores elevações se verificam nas porções central e

meridional da área atingindo valores altimétricos superiores a 875 metros (Figura 2). Por outro lado, o relevo da porção setentrional é mais suavizado, abrangendo extensas planícies às margens dos rios principais cujas altitudes são iguais ou inferiores a 775 metros (Figura 2). A drenagem apresenta densidade média a alta, sendo um pouco mais baixa na porção setentrional da área, e o padrão é dendrítico a localmente radial, com canais orientados preferencialmente nas direções NE-SW e NW-SE. A forma das encostas é convexa a côncava-retilínea-convexa e as declividades atingem valores superiores a 70%, porém predominam as inferiores a 30% (Figura 3).

2.3 - Hidrografia

A maior parte da RMSP, cerca de 70%, se identifica com a bacia hidrográfica do Alto Tietê, que é a mais importante das bacias hidrográficas da RMSP, não só pela sua extensão geográfica (5.550 km² na RMSP), mas sobretudo pelo inter-relacionamento de seus rios com a complexa malha urbana, e também porque grande parte da água utilizada ou a ser utilizada para o abastecimento da metrópole origina-se de seus reservatórios existentes ou planejados.

Devido à importância desta bacia para o abastecimento da RMSP grande parte dela está protegida pela Legislação de Proteção aos Mananciais. A aproximadamente 2 km da área de estudo, situa-se o limite da Área de Proteção aos Mananciais que coincide com o divisor de águas da Bacia do Ribeirão Guaió, na divisa do Município de São Paulo com o Município de Ferraz de Vasconcelos.

A rede hidrográfica da bacia do Alto Tietê é constituída pelo Rio Tietê e seus afluentes, dos quais se destacam os rios Paraitinga, Baquirivu-Guaçu, Cabuçu de Cima e Juqueri (margem direita) e os rios Claro, Biritiba Mirim, Jundiá, Taiaçupeba, Guaió, Aricanduva, Tamanduateí, Pinheiros, Cotia e São João do Barueri (margem esquerda). Dentre suas sub-bacias, destacam-se aqui, as do Rio Itaquera, Rio Verde e Rio Aricanduva, nas quais está inserida a área de estudo (Figura 4). Os principais rios que drenam a área são: o Rio Aricanduva (extremo sul da área), Rio Jacu (oeste da área), Córrego Itaquera e Córrego Guaratiba (leste da área) (Figura 1).

Figura 2 - Mapa de relevo da área de estudo.

Figura 3 - Mapa de declividade da área de estudo.

Figura 4 – Sub-bacias hidrográficas da área de estudo e suas localizações na Bacia do Alto Tietê.

2.4 - Clima

O clima da RMSP é do tipo tropical temperado de altitude, com temperatura média anual oscilando em torno de 25°C. As médias mensais atingem seus valores mínimos, inferiores a 23°C, nos meses de maio a agosto, sendo julho o de mais baixa temperatura (12-14°C). As médias mensais mais elevadas, superiores a 27°C, ocorrem no período de novembro a março, atingindo valores máximos em fevereiro.

O regime de chuvas é caracterizado por dois períodos nítidos de distribuição mensal: um período mais chuvoso, com 60 - 70% do total anual, se estendendo de outubro a março, e o mais seco que vai de abril a setembro. As médias mensais do período chuvoso variam entre 112 e 533 mm, enquanto os valores mensais do período seco situam-se entre 40 e 343 mm (DAEE, 1975).

Na região de Itaquera, os dados obtidos das estações pluviométricas Posto Itaquera e Posto Guaianazes, no período de 1995 a 1998, revelam médias mensais de outubro a março entre 103,8 e 298,6 mm e médias mensais de abril a setembro entre 14,45 e 110,8 mm. As médias anuais neste período variaram entre 1378,75 e 1532,60 mm, correspondendo ao Posto Itaquera e Posto Guaianazes, respectivamente.

A distribuição dos índices mensais neste período são apresentadas na Figura 5, incluindo o ano de 1999, de janeiro a abril.

2.5 - Histórico de uso e ocupação

O histórico de uso e ocupação dos subúrbios orientais da cidade de São Paulo até a década de 40 foi estudado por AZEVEDO (1945), sendo que aqui é apresentada uma síntese desse estudo.

Na década de 40, a ocupação da região de Itaquera era caracterizada pela existência de pequenos povoados e vilas próximos à estrada de ferro "Central do Brasil" (R.F.F.S.A.), onde se destacavam dois núcleos: Itaquera e Lajeado (atualmente Guaianazes).

Figura 5 – Distribuições mensais das chuvas na região de Itaquera, no período de 1995 a 1999.

Em 1945, a população que vivia na região de Itaquera era calculada em 12 mil habitantes, sendo formada, na sua maioria, por brasileiros com uma participação de 15% do total de japoneses, que se dedicavam às atividades rurais.

O desenvolvimento de Itaquera, deve-se, até certo ponto, ao crescimento da capital paulista, pois foi sentindo a futura expansão da metrópole que a "Companhia Comercial, Pastoril e Agrícola" adquiriu, em 1919, os terrenos situados entre os rios Verde e Jacu, iniciando-se, assim, o loteamento de terras na região.

A sul desses terrenos, terras que pertenceram a uma antiga fazenda (Fazenda Caaguaçu) foi dividida em mais de 600 lotes de terras, a partir dos quais se processou o povoamento, surgindo os primeiros sítios. Povos de diferentes nacionalidades (brasileiros, japoneses, alemães, russos, lituanos, checoslovacos e poloneses) se fixaram neste centro de povoamento chamado "Colônia", porém principalmente os japoneses que foram encaminhados para lá pelo governo, a partir de 1922.

Do ponto de vista econômico, a "Colônia" teve grande importância não só para a região de Itaquera como, principalmente, para a própria capital paulista, tendo sido considerada o mais importante centro agrícola da região naquela época. Suas culturas eram classificadas como intensivas, embora reduzido fosse o instrumental empregado. Os morangos mereciam a preferência dos hortelões nipônicos; mas também eram cultivados uvas, pêssegos, ameixas amarelas do Japão, ameixas pretas, limões sicilianos, caquis, pêras, laranjas, etc. Ao seu lado, apareciam as culturas de tomates, aspargos, alcachofras, couves-flores, alfaces, cenouras, repolhos, batatinhas, etc. Esse centro agrícola ainda se dedicava à produção, em larga escala, de ovos de granja.

Por intermédio de organizações cooperativistas (notadamente a "Cooperativa Agrícola de Cotia" e a "Sociedade Cooperativa Agrícola Suburbana da Capital"), toda a produção era encaminhada para o mercado e para as feiras da metrópole paulistana.

Fora da "Colônia", destacavam-se alguns locais isolados de atividades agrícolas importantes com culturas variadas de frutas, cana e milho, além de plantação de vinhedos e oliveiras, na região do Lajeado.

No mais, cabia lembrar apenas as pequenas áreas cultivadas para uso dos próprios moradores, bastante comuns em toda a região, sem grande valor do ponto de vista da

economia regional, mas importantes por satisfazerem uma parte do consumo individual dos habitantes das diversas "vilas". Restringiam-se às encostas das colinas e dos morros, fugindo quase sempre das partes mais elevadas (muito "lavadas" pelas enxurradas) e do fundo dos vales, brejosos, na maioria das vezes.

Um dos problemas existentes na região era o de água. A água era obtida em poços, que chegavam a ter até 20 metros de profundidade, sendo retirada muitas vezes por meio de bombas acionadas pelo vento, o que acabava por dar à vila uma fisionomia própria, em virtude do elevado número de seus moinhos de vento. Outro problema era a falta de energia elétrica que impossibilitava, dentre outras coisas, a instalação de indústrias importantes, podendo citar-se apenas uma fábrica em toda a região de Itaquera até 1945: a pequena Fábrica de Fitas Dora.

A exploração do subsolo era feita através de algumas olarias, situadas principalmente nas vizinhanças de Lajeado, que extraíam o solo argiloso das várzeas para a fabricação de tijolos e, de pedreiras de granito localizadas tanto em Itaquera como em Lajeado, que forneciam granito para a capital paulistana para uso na construção civil.

Em contrapartida, atualmente a região de Itaquera e Guaianazes abriga um grande contingente populacional que vem crescendo constantemente, principalmente devido ao desenvolvimento econômico da região, a partir do estabelecimento de muitas indústrias e centros comerciais importantes que geraram mais empregos para a população local. Com o crescimento populacional surgiram muitos conjuntos habitacionais populares (da COHAB e da CDHU) que abrigam hoje uma população estimada em cerca de 100.000 habitantes.

Apesar do crescimento industrial, especificamente na área de estudo, muitos ainda dedicam-se às atividades agrícolas (basicamente os japoneses) em pequenas chácaras e sítios, onde cultivam verduras (hidroponia), frutas, café, flores e plantas ornamentais, para consumo de subsistência mas também para comercialização.

O abastecimento de água ainda constitui um problema, pois muitos não são servidos pela rede de água da SABESP, o que leva a população e as indústrias a se utilizar da água subterrânea através de poços cacimbas (poços escavados) e tubulares. O principal problema no caso das cacimbas está relacionado com a qualidade das águas, algumas vezes impróprias para consumo humano e até para outras atividades devido a contaminações decorrentes de

atividades antrópicas desenvolvidas na superfície e da má construção e conservação dos poços. No caso dos poços tubulares, o principal problema enfrentado é o das baixas produções dos poços devido à má qualidade dos aquíferos em termos de armazenamento de água.

Quanto às atividades mineiras, ainda hoje se explotam o "granito" das pedreiras de Itaquera (pedreiras Lajeado) para a produção de pedra britada e também a extração do solo argiloso, em olarias locais, para a fabricação de tijolos.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – Quadro geológico regional

3.1.1 - Aspectos litoestratigráficos

A maior parte da área urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) está assentada sobre terrenos sedimentares de idade cenozóica, compreendendo os depósitos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo e as coberturas aluviais mais recentes, de idade quaternária, desenvolvidas ao longo dos principais rios que drenam a região. Os terrenos cristalinos, por sua vez, contornam as áreas sedimentares e configuram, praticamente, toda a borda da RMSP, abrangendo significativa extensão.

Nos terrenos cristalinos da RMSP afloram essencialmente duas unidades geológicas, proterozóicas, separadas pelas falhas de Taxaquara e do Rio Jaguari, além das rochas granitóides intrusivas. O conjunto situado a sul destas falhas é representado pelo Grupo Açungui, subdividido por HASUI (1975a) em Complexo Ectinitico Pilar e Complexo Migmatítico Embu, com base em critérios puramente litológicos, e o conjunto situado a norte das falhas é representado pelo Grupo São Roque (COUTINHO, 1972), subdividido posteriormente, em Grupo São Roque e Grupo Serra do Itaberaba, por JULIANI et al. (1986).

Em termos litológicos o Grupo São Roque é formado por uma seqüência metassedimentar ectinitica composta por metassedimentos de origem clástica (metaconglomerados, meta-arcósios e metagrauvacas, quartzitos, filitos e mica-xistos) associados a metabasitos e rochas granitóides intrusivas tardi-tectônicas (COUTINHO, 1972). O Grupo Açungui é constituído por ectinitos similares aos do Grupo São Roque, representando o Complexo Pilar, e por migmatitos estromatíticos, representando o Complexo Embu, ambos com associação de metabasitos e penetrados por vários corpos granitóides sintectônicos e pós-tectônicos (HASUI, 1975a).

Trabalhos realizados sobre o embasamento cristalino no leste paulista (FERNANDES, 1991; SANTORO et al., 1991; GIMENEZ FILHO et al., 1991; THEODOROVICZ et al., 1991) tem abandonado a denominação Complexo Pilar, considerando, desta forma, os metassedimentos como do Complexo Embu.

HASUI & SADOWSKI (1976) reconheceram que no Grupo São Roque e no Complexo Pilar, o metamorfismo regional se deu em fácies xisto verde a anfibolito, enquanto no Complexo Embu o metamorfismo se deu em fácies anfibolito, sendo também similares as

histórias metamórficas dos grupos São Roque e Açungui, conforme descritas por HASUI (1975a). Segundo COUTINHO (1972), a passagem transicional entre os litotipos do Complexo Pilar para os do Complexo Embu é dada pela feldspatização progressiva dos ectinitos de fácies xisto verde para as rochas gnáissico migmatíticas da fácies anfibólito, respectivamente. Este fato também foi verificado nas rochas do Complexo Embu, na porção leste de São Paulo, por SANTORO et al. (1991), que relatam a passagem gradual de micaxistos e gnaisses para migmatitos.

Os metassedimentos mais comuns do Complexo Pilar são os xistos, que variam entre quartzo-mica xistos, biotita-quartzo xistos, granada-biotita xistos, xistos grafitosos, clorita xistos, sericita-biotita xistos, talco xistos, magnetita xistos e calcoxistos, ocorrendo intercalações subordinadas de filitos, metassiltitos, quartzitos, mármore e calcossilicáticas (IPT, 1981b).

HASUI (1975b) ao caracterizar a geologia da folha de São Roque, descreve os migmatitos do Complexo Embu como possuindo predominantemente estrutura estromatítica em que o paleossoma representado por gnaisses, micaxistos e quartzo-xistos é, em geral, a parte mais destacada. Intercalados aos xistos aparecem leitos de quartzito, corpos de rochas calcosilicatadas e metabasitos. O neossoma, por sua vez, possui composição granítica a granodiorítica, granulação variável (fina a grossa) e forma faixas, bolsões e lentes com espessuras de milimétricas a métricas, concordantes com a xistosidade do paleossoma. Na região de São Paulo, esses migmatitos foram registrados como gnaisses e xistos, por COUTINHO (1972).

Os metabasitos presentes tanto no Grupo São Roque como no Grupo Açungui são corpos de rochas básicas geradas durante magmatismo pré-tectônico que foram transformadas pelo metamorfismo regional em fácies xisto verde (HASUI, 1975a). São constituídos, dentre outros minerais, por actinolita-tremolita, clorita, minerais do grupo do epidoto, quartzo, calcita, titanita e biotita. São ora concordantes com a estratificação reliquiar dos metassedimentos, ora discordantes, com espessura e extensões restritas, com exceção dos corpos de Alumínio e Pirapora, que alcançam várias centenas de metros.

As rochas granitóides que afloram nas proximidades da RMSP possuem dimensões variadas de batólitos a pequenos "stocks", estando alguns recobertos pelos sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Estas rochas apresentam indícios de cataclase generalizados, em grande parte atribuíveis a falhamentos posteriores relacionados com a evolução tectônica (HASUI, 1975a). Segundo JULIANI (1992), dentre os granitóides da RMSP predominam amplamente a fácies Cantareira, tanto no Complexo Embu como nos

grupos São Roque e Serra do Itaberaba. Os corpos graníticos da fácies Cantareira apresentam caráter alóctone e para autóctone, com feições de contato tanto transicionais quanto parcialmente discordantes, desenvolvendo inclusive algumas auréolas de contato quando intrudidos em metamorfitos de baixo grau. São observados também, tipos bastante diversificados textural, composicional e mineralogicamente. O tipo granito-gnáissico é o mais comum, com a foliação concordante ao trend regional. Possui uma granulação fina a média, composição granítica a granodiorítica e ocorrência conspicua de megacristais de feldspato potássico, oriundos de uma metassomatose tardia, conferindo à rocha caráter porfíroide (IPT, 1981b).

A Bacia Sedimentar de São Paulo está assentada quase que exclusivamente sobre o Grupo Açungui. Segundo a concepção de RICCOMINI (1989), os depósitos sedimentares continentais terciários da Bacia de São Paulo compreendem uma seqüência basal, com as formações Resende, Tremembé e São Paulo, reunidas no Grupo Taubaté, recoberta, de forma presumivelmente discordante, pela Formação Itaquaquecetuba.

As unidades quaternárias, na RMSP, correspondem às extensas planícies aluviais associadas aos principais rios da região (Tietê, Pinheiros e Tamanduateí), presentes também ao longo das drenagens de menor porte. Segundo MELO et al. (1987), os depósitos pleistocênicos compreendem predominantemente colúvios argilo-arenosos, com lentes mais argilosas ou conglomeráticas, ocasionalmente exibindo madeira fóssil, e aluviões subordinados constituídos por conglomerados basais sobrepostos por areias grossas e conglomeráticas com estratificações cruzadas, gradando para areias finas a médias, com porções de argilas arenosas, podendo ocorrer também fragmentos de madeira fóssil nesses dois últimos pacotes.

3.1.2 - Aspectos tectônicos e estruturais

As mais destacadas feições estruturais no precambriano paulista são as falhas transcorrentes (IPT, 1981b), subverticais, orientadas nas direções ENE a EW (Figura 6). Segundo HASUI & SADOWSKI (1976), o sistema de falhamentos transcorrentes se relaciona com a evolução do Ciclo Brasileiro, tendo começado a se desenvolver após o metamorfismo regional e se manifestado até após o magmatismo pós-tectônico, ou seja, até a estabilização da plataforma (esta se deu antes do Siluriano). Durante o Cenozóico estas falhas foram reativadas em diversas ocasiões, como observado por RICCOMINI (1989), imprimindo deformações também nos sedimentos cenozóicos.

Figura 6 - Principais falhamentos transcorrentes do embasamento cristalino do Estado de São Paulo (IPT, 1981b).

Em termos regionais as falhas formam feixes que definem enormes faixas de cisalhamento, com 1 (um) a 4 (quatro) quilômetros de largura e que se estendem por dezenas de quilômetros (THEODOROVICZ et al., 1991). Nelas se reconhecem uma importante foliação milonítica freqüentemente verticalizada com lineações de estiramento mineral horizontais (THEODOROVICZ et al., 1991), além de estrias subverticais de ocorrência local, indicando soerguimento e abatimento de blocos (HASUI, 1975b; GIMENEZ FILHO et al., 1991). A deformação nestas faixas é de natureza predominantemente dextral e dúctil (THEODOROVICZ et al., 1991; GIMENEZ FILHO et al., 1991), esta última evidenciada pelo desenvolvimento extensivo de proto a ultramilonitos. Estruturas rúpteis podem ser vistas localmente, indicando movimentação nos estágios finais de desenvolvimento das faixas, ou mesmo reativações posteriores (GIMENEZ FILHO et al., 1991). Dentre as estruturas rúpteis menores são citadas, por HASUI (1975b), 4 (quatro) a 5 (cinco) sistemas de juntas bem desenvolvidos nas rochas metamórficas e granitóides dos grupos São Roque e Açungui, na folha de São Roque.

Além das falhas, algumas estruturas anticlinoriais e sinclinoriais foram reconhecidas nos domínios dos grupos São Roque e Açungui no Estado de São Paulo, sendo destacada aqui a sinclinal de Itaquera, localizada nas proximidades da área de estudo, descrita por COUTINHO (1972). Segundo este autor, a sinclinal tem como feição singular a presença de gnaisses ocupando parte de seu núcleo. A origem dessa rocha no interior de tal estrutura foi explicada, nesta ocasião, como sendo por processo de granitização agindo sobre metassedimentos.

Na região sudeste do Estado de São Paulo, (HASUI & SADOWSKI, 1976) mostraram envolvimento do Grupo Açungui (tanto do Complexo Pilar quanto do Complexo Embu) em duas fases de dobramentos (sucédidos por crenulação), sendo a última fase responsável pela direção geral ENE da xistosidade do Grupo Açungui, que é paralela à estratificação reliquiar. O fato da xistosidade ser paralela à estratificação reliquiar indica que o Complexo Embu foi afetado por uma fase anterior de dobramento. As dobras geradas na segunda fase de deformação são cerradas (ocasionalmente fechadas e isoclinais), com planos axiais subverticais.

Numa área mais extensa abrangendo o precambriano de São Paulo e do Paraná, HASUI et al. (1980) reconheceu basicamente 3 (três) fases de dobramentos no Grupo Açungui, sendo que as duas primeiras são correlacionáveis às de HASUI & SADOWSKI (1976) no sudeste paulista. Na terceira fase se desenvolveram dobras de portes variados, associadas a intrusões granitóides, falhas e crenulação, de incidência local.

No leste paulista, FERNANDES (1991) descreve 5 (cinco) fases de dobramentos nas rochas do Complexo Embu, correlacionável ao Grupo Açungui de HASUI & SADOWSKI (1976). As dobras geradas nas duas primeiras fases correspondem àquelas duas primeiras descritas nos dois trabalhos anteriores e, segundo FERNANDES (1991), apresentam o mesmo tipo de metamorfismo. As dobras geradas na 3ª fase são inversas, apertadas, centimétricas a hectométricas e são acompanhadas por retrometamorfismo generalizado. Na 4ª fase se formaram dobras abertas a fechadas, normais, isópacas, centimétricas a quilométricas correspondendo aos sinformes e antiformes normais presentes na área. A 5ª fase, pós metamórfica, produziu ondulações amplas ou corrugações centimétricas com eixos caindo para NW ou SE.

As dobras do Grupo São Roque, segundo HASUI & SADOWSKI (1976), apresentam estilo geral semelhante às do Grupo Açungui, o que pode ser atribuído a uma fase de deformação em comum, porém se diferenciam por exibirem xistosidade plano axial. Para HASUI (1975b) em ambos os grupos o dobramento principal (2ª fase no Grupo Açungui e 1ª fase no Grupo São Roque) ocorreu contemporaneamente ao metamorfismo regional. Assim como no Grupo Açungui, as rochas do Grupo São Roque (tanto os metapelitos quanto os migmatitos) foram submetidas aos processos de crenulação e transposição, já em condições de rigidez (HASUI, 1975a e b).

3.1.3 - Evolução tectônica cenozóica

As estruturas de reativação, condicionantes do embaciamento da Bacia de São Paulo e responsáveis pelas deformações posteriores nos sedimentos, correspondem a falhamentos segundo as direções estruturais ENE a EW, NNE, NNW e WNW, padrão este análogo ao das bacias situadas a leste (bacias de Taubaté, Resende e Volta Redonda) (RICCOMINI et al., 1992). Segundo os mesmos autores estas falhas apresentam ora movimentação predominantemente normal ou reversa, ora componente essencialmente direcional, dextral ou sinistral, bem como situações intermediárias. Além dessas estruturas, estes autores relatam falhas de empurrão, dobras e juntas em escala mesoscópica.

Segundo RICCOMINI (1989), as diferentes movimentações ao longo dos falhamentos não podem ser explicadas por um único regime de esforços, sendo necessário a superposição de movimentações, numa determinada seqüência cronológica. Assim, ao estudar as bacias continentais terciárias do sudeste do Brasil o autor propôs um modelo de evolução, que contempla as seguintes fases:

a. formação da depressão original (hemi-gráben) no Paleógeno (Eoceno-Oligoceno) como resultado da reativação de antigas zonas de cisalhamento pelo campo de esforços extensionais de direção NNW-SSE, imposto pelo basculamento termomecânico da Bacia de Santos;

b. modificação do regime de esforços (Neógeno: Mioceno) - extensão NW-SE e compressão local NE-SW, relacionados a um binário transcorrente sinistral orientado segundo E-W;

c. fase de estabilização tectônica (Pleistoceno Inferior) seguida de nova fase transcorrente, com compressão NW-SE e extensão NE-SW relacionada a um binário dextral;

d. vigência de regime extensional, de direção NW(WNW)-SE(ESE) - no Holoceno. Falhamentos normais;

e. o campo de tensões deduzido para as movimentações pliocênicas e mais recentes indica compressão, mostrando, portanto, nova mudança no regime de esforços.

Para RICCOMINI (1989) o modelo que melhor contemplaria os esforços compressivos NE-SW e NW-SE seria o transcorrente, com binário principal orientado segundo a direção aproximada E-W, inicialmente sinistral e, posteriormente dextral. Da mesma forma, RICCOMINI (1995) ao estudar a tectônica e as deformações nos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da Bacia do Paraná em São Paulo reconhece que, de maneira geral, o Cenozóico permanece associado a um campo de tensões relacionado a um binário dextral de direção próxima a E-W, com compressão regional (tensão máxima na direção NW-SE), com breves alternâncias para transcorrência sinistral de mesma direção (tensão máxima na direção NE-SW), em função do balanço da taxa de abertura na Cadeia Meso Atlântica e de subducção da Placa de Nazca sob a Sul-Americana. O último evento tectônico citado por este autor, indica compressão na direção E-W, o que se harmoniza com a direção da tensão horizontal máxima de toda a parte continental brasileira obtida por ASSUMPÇÃO (1998), em estudo de sismotectônica, utilizando dados de mecanismos focais e "breakouts", que revelou ser mais ou menos a direção E-W.

3.2 - Geologia local

Dentre os trabalhos de mapeamento, em escalas regionais, que abrangem a área de estudo, destacam-se o de COUTINHO (1972) - 1:100.000, EMPLASA (1980) - 1:100.000, IPT (1981b) - 1:500.000 e CEPAS (1994) - 1:50.000 (folha Mauá) - Figura 7, sendo este último, um trabalho de compilação de diversos trabalhos anteriores, acrescido de informações de inúmeros relatórios técnicos e da experiência pessoal de seus autores.

Como o relatório de CEPAS (1994) não traz a descrição das unidades litológicas proterozóicas, apenas das terciárias e quaternárias, serão feitas aqui apenas algumas considerações referentes à Figura 7.

A unidade designada pela sigla PEF corresponde aos filitos e xistos correlacionável ao Complexo Pilar (Grupo Açungui), descrito em IPT(1981b). Intercalados aos filitos, aparecem os anfibolitos (PEa), presentes em forma de cunha de rocha delimitada parcialmente por falhas. A unidade PEq constitui uma variação da unidade (PEf) e é composta predominantemente por quartzitos, com ocorrências subordinadas de metassiltitos e xistos.

Quanto aos granitóides (unidade PEGo), incluem aqui porções gnáissicas, migmatíticas e blastomiloníticas subordinadas, sugerindo se basear em EMPLASA (1980), que associa estas rochas ao Complexo Embu (Grupo Açungui). Muitos desses granitóides foram mapeados como gnaisses, na região da Grande São Paulo, por COUTINHO (1972), que atribuiu parte dos paragneisses ao Complexo Embu. Por outro lado, no mapa de IPT (1981b) esses granitóides foram mapeados como granitos sintectônicos (fácies Cantareira), conforme descritos no item 3.1.1. THEODOROVICZ et al. (1991) ao mapearem a folha Mauá denominaram essas rochas de granito-gnaisses de Itaquera, por isso essa será a denominação adotada no presente trabalho.

Os sedimentos terciários pertencentes à Bacia Sedimentar de São Paulo estão representados basicamente pela Formação Resende (unidade Ori, Orf), porém não afloram na área de abrangência do mapa (Figura 7).

As unidades quaternárias (Qa) são descritas segundo MELO et al. (1987) conforme já apresentadas no item 3.1.1.

Figura 7 – Mapa geológico da folha Mauá – parcial (CEPAS, 1994).

3.3 - Análise cinemático-estrutural

3.3.1 - Determinação da direção e sentido do movimento em falhas rúpteis

Existem vários métodos que se ocupam do estudo de tensões aplicadas a populações de falhas (CARNEIRO, 1996), contudo, serão citados aqui apenas os dois métodos mais usados: o método Arthaud e o método dos diedros retos ou método de Angelier.

3.3.1.1 - Método Arthaud

ARTHAUD (1969) propôs a primeira técnica para a análise das estrias de atrito nas superfícies de falhas. O método considera que a deformação leva a encurtamento segundo Z, estiramento segundo X e encurtamento ou estiramentos menores segundo Y, com a massa rochosa aliviando as tensões através de deslocamentos de blocos (Figura 8). Se as falhas são formadas por um determinado evento, em um maciço anisotrópico, então esses deslocamentos não serão caóticos, mas guardarão uma coerência com a deformação global. Segundo ARTHAUD (1969), o plano do movimento de cada falha (plano M) expressa essa coerência. Esse plano é perpendicular a cada falha e ainda contém a estria (Figura 9).

Figura 8 - Bloco diagrama mostrando um bloco falhado e a posição dos eixos X, Y e Z, no conceito de Arthaud (1969).

Figura 9 - Plano M, no conceito de Arthaud (1969).

Os estereogramas mostram os pólos dispersos segundo uma, duas ou três guirlandas que se entrecortam ortogonalmente, formando concentrações nas suas intersecções. Os planos formados representam os três planos de deformação e as intersecções os três eixos cinemáticos X, Y e Z. O método de Arthaud é mais eficiente para deformação biaxial.

3.3.1.2 - Método dos diedros retos ou Método de Angelier

ANGELIER & MECHLER (1977) descreveram o método gráfico conhecido como "Método dos Diedros", onde para cada falha admite-se dois planos ortogonais, o plano de falha (PF) e um plano auxiliar (PA), esse último ortogonal também às estrias (S) impressas no plano de falha. Assim é possível delimitar quatro diedros retos, dois de compressão (C) e dois de extensão (E) (Figura 10).

Figura 10 - Esquema dos diedros retos de compressão (C) e de extensão (E) numa região afetada pela falha PF. Notar que o PA é ortogonal às estrias (S) e não ao mergulho real da falha (m).

O método dos diedros retos considera que para cada falha de uma determinada família de falhas, pode-se deduzir os quatro diedros que se sujeitaram, alternadamente a encurtamento e extensão. Estes diedros são definidos pelo plano de falha e por um plano que é perpendicular a ele e à estria. Pelo movimento relativo, pode-se inferir os diedros de encurtamento e estiramento. Em estereogramas, tais diedros expressam-se por quatro setores. Considerando numerosas falhas, muitos diedros de encurtamento ou de extensão apresentarão porções em comum, as quais definem os eixos σ_1 e σ_3 , tanto mais precisamente quanto menores forem essas porções (Figura 11).

Figura 11 - Esquema do princípio elementar do método dos diedros retos mostrando um esquema em extensão. O somatório das duas primeiras figuras vai dar a última.

3.3.2 - Aplicação em estudos de hidrogeologia

Alguns exemplos de aplicação da análise cinemática das deformações de maciços rochosos em estudos hidrogeológicos são citados a seguir:

- análise estrutural na prospecção de fontes termais no Planalto de Poços de Caldas (ETCHEBEHERE et al., 1992). Os lineamentos foram mapeados de fotografias aéreas 1:60.000, tendo sido produzidos mapas (a) de frequência de lineamentos, (b) de densidade de lineamentos, (c) de intersecção de lineamentos e (d) de rosáceas de lineamento. A análise cinemática permitiu inferir que os eixos N330, vertical e N060, correspondem a σ_1 , σ_2 e σ_3 , ou seja, aos eixos principais de encurtamento, intermediário e alongação, respectivamente. Dessa forma as descontinuidades NNW seriam passíveis de maior abertura, e portanto capazes de condicionar a circulação hidráulica do maciço;

- utilização do método de Arthaud para identificar os eixos do elipsóide de tensões numa sequência de basaltos em estudos para a fundação da Barragem de Porto Primavera (Rio Paraná -SP) (MAGALHÃES et al., 1992);
- aplicação do método dos diedros retos para determinar os eixos de deformação/tensão do maciço, utilizando essas informações para orientar o projeto de drenagem de uma mina de carbonatito (Jacupiranga - SP) (HASUI & MIOTO, 1992).
- aplicação da análise cinemática de fratura para a determinação dos esforços atuantes na região da borda da Bacia do Paraná e a sua correlação com a produção de poços profundos (FERNANDES, 1997).

Esses exemplos, embora não se relacionem especificamente à prospecção de água subterrânea, possuem em comum a pesquisa de um modelo de aquífero (maciço) que representa a anisotropia hidrogeológica, mesmo que de forma qualitativa.

3.4 - Hidrogeologia

3.4.1 - Importância e uso das águas subterrâneas

Em muitos países, tais como Arábia Saudita, Áustria, Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Holanda, Itália, mais de 90% do abastecimento público é feito pelo manancial subterrâneo. Nos Estados Unidos nos últimos 25 anos, o consumo de água em geral, cresceu a uma taxa de 2% ao ano, enquanto o de água subterrânea atingiu praticamente 102%. Estima-se que, atualmente entre 800 e 900 mil poços são perfurados por ano nos Estados Unidos, sobretudo para produção e/ou monitoramento (REBOUÇAS, 1996).

As águas subterrâneas são utilizadas para irrigação de cerca de um terço do total da área irrigada do mundo. A China tem a maior área agrícola do mundo, 46 milhões de hectares, seguida da Índia, com 39 milhões, e dos Estados Unidos, com 20,5 milhões. Nos Estados Unidos o manancial subterrâneo irriga 45%; na Índia 79,5% e na China mais de 50% (REBOUÇAS, 1996).

No continente latino-americano o uso deste recurso atende a mais de 140 milhões de pessoas. Pelo menos duas grandes conurbações no continente, Cidade do México e Grande Lima, são abastecidas em grandes proporções por águas subterrâneas. No caso da Cidade do México, um volume de 3.200 ML/dia (94% do suprimento total em 1982) é originado pela captação dos 1.100 poços tubulares do Vale do México e 230 poços do Vale de Lerma. No caso da Grande Lima, as águas de uso doméstico e municipal têm origem em 320 poços

tubulares, que produzem quantidades superiores a 650 ML/dia. Em outras grandes cidades do continente, Buenos Aires (360 ML/dia) e Santiago do Chile (950 ML/dia), as águas subterrâneas suprem a maior parte do abastecimento público e privado (FOSTER et al., 1987).

Ademais, as águas subterrâneas têm uma função estratégica de grande alcance nas áreas metropolitanas em geral, a exemplo do que já se pratica em algumas cidades do Primeiro Mundo, tais como Paris, Londres, Nova Iorque, Los Angeles, Barcelona, Madri. Nestes casos, as águas subterrâneas são conservadas e até recebem recarga artificial, para serem acionadas em momentos de crise climática ou de acidente ambiental ou terrorista que venha afetar o manancial superficial (REBOUÇAS, 1994).

O relativo baixo custo e, na maioria dos casos, a excelente qualidade natural das águas subterrâneas têm sido suficientes para justificar sua exploração como fonte de água potável, mesmo em muitas regiões de clima tropical úmido. No Brasil, estima-se a existência de 200.000 poços tubulares ativos (além de milhões de poços rasos escavados), que fornecem água para diversos fins, sobretudo o abastecimento urbano, permitindo suprir as necessidades de mais da metade da população (REBOUÇAS & MENEZES, 1988). Em praticamente todas as áreas metropolitanas do país, os poços vêm se constituindo em fonte complementar importante de abastecimento, face aos problemas de falta de água do sistema público e como forma de redução de custos.

No Estado de São Paulo, estima-se que 60,5% dos núcleos urbanos são servidos exclusivamente (45,4%) ou parcialmente (15,1%) por fontes subterrâneas (IG, 1997). Na Grande São Paulo estima-se em 7.000 o número de poços em operação, abastecendo hotéis, hospitais, condomínios residenciais e indústrias. A população equivalente abastecida é estimada em 5 milhões (REBOUÇAS, 1994).

3.4.2 - Hidrogeologia de aquíferos fraturados

3.4.2.1 - Generalidades

A hidrogeologia dos aquíferos fraturados tem a sua principal aplicação no domínio das rochas ígneas e metamórficas, genericamente designado como cristalino. Neste domínio, podem ser distinguidos dois aquíferos de comportamento bastante distintos (COSTA & SILVA, 1997): o aquífero poroso ou intersticial e o aquífero de rocha sã fraturada.

O primeiro mais superficial é formado por capeamentos procedentes de uma sedimentação de material estranho à rocha subjacente ou encoberta (cobertura alóctone) como os depósitos de aluviões e coluviões, bem como por materiais procedentes de processos de intemperismo da própria rocha subjacente (cobertura autóctone).

O segundo, mais profundo, se constitui da zona fraturada de rocha sã. Nesse domínio a matriz do maciço rochoso é caracterizada pela inexistência ou presença muito reduzida de espaços intergranulares na rocha. Nesse meio, a água encontra-se em espaços representados por fissuras ou fraturas, juntas ou ainda em falhas e, em casos particulares, em vesículas, aberturas de dissolução, zonas de decomposição, dentre outros.

Segundo UNESCO (1984), esses aquíferos não estão isolados, apresentando certo grau de comunicação entre eles, sendo que o aquífero poroso exerce papel importante na recarga do aquífero de rocha sã fraturada. Tal idéia é corroborada por BERTACHINI (1987), CAVALCANTE (1990) e MENEGASSE (1991).

O aquífero de rocha sã fraturada, devido às suas descontinuidades, precária homogeneidade e forte anisotropia, não apresenta parâmetros hidrodinâmicos constantes (COSTA & SILVA, 1997). No aquífero poroso ou intersticial, a porosidade é responsável pelo coeficiente de armazenamento enquanto a condutividade hidráulica corresponde diretamente à transmissividade para uma determinada espessura do aquífero. A vazão específica guarda também uma certa relação com o rebaixamento do poço. Em contrapartida, no aquífero de rocha sã fraturada, a porosidade é meramente função das fissuras, não se distribuindo homogeneamente em todo o aquífero, mas variando muito de um ponto a outro. Assim, em determinada zona do maciço, onde não ocorre nenhuma fratura, a porosidade equivalente é praticamente nula, podendo ser relativamente elevada numa outra zona, onde haja uma concentração de fraturas.

Igualmente, a condutividade hidráulica dependerá fundamentalmente do fraturamento, não havendo nenhum sentido de se falar em transmissividade do aquífero, uma vez que, se ao longo da fratura existe uma determinada condutividade hidráulica, não se pode extrapolar esse valor para uma determinada espessura do aquífero, onde predominam zonas não fraturadas, onde a intercomunicação das fraturas se faz incipientemente ou mesmo deixa de existir. Os valores de condutividade hidráulica encontrados em ensaios de laboratório, citados por COSTA & SILVA (1997), acusam resultados muito baixos para as rochas do cristalino em geral, na faixa de 10^{-10} a 10^{-12} m/s.

Segundo UNESCO (1984), os poços que exploram essencialmente o aquífero poroso nas regiões de clima úmido do Brasil apresentam valores de vazão entre 0,5 e 15 m³/h e de

capacidade específica entre 0,2 e 4 m³/h/m. Na área de Atibaia, CAVALCANTE (1990) obteve, através de testes de vazão em 3 poços cacimba, que exploram somente o aquífero poroso (espessura máxima de 59 m), capacidade específica média de 0,225 m³/h/m. Os valores de condutividade hidráulica nestes aquíferos é de 10⁻⁷ a 10⁻⁶ m/s (REBOUÇAS & CAVALCANTE, 1987).

3.4.2.2 - Fatores que atuam na capacidade de armazenamento de água

Os fatores que atuam no mecanismo de infiltração, percolação e armazenamento da água em rochas fraturadas e, conseqüentemente, na capacidade do aquífero fraturado podem ser divididos em dois grupos (COSTA & SILVA, 1997): endógenos e exógenos.

O primeiro grupo corresponde aos agentes que atuam no interior do globo, representado principalmente pela própria crosta, tais como: estruturas apresentadas pelas rochas em função dos esforços atuantes, constituição mineralógica das rochas (paragêneses magmáticas, sedimentares ou metamórficas) e pela presença de soluções mineralizantes hidrotermais.

O segundo grupo diz respeito aos agentes atuantes na superfície externa do globo terrestre, tais como o clima da região, relevo, hidrografia, vegetação, infiltração de soluções e intemperismo.

3.4.2.2.1 – Fatores endógenos

Litologia

A importância da litologia reside no fato dela exercer influência tanto nos padrões de fraturamento como nas características do manto de intemperismo (FERNANDES, 1997). Em relação aos padrões de fraturamento, a granulação da rocha exerce influência no sentido de que quanto maiores e mais desenvolvidos os cristais (como em pegmatitos) mais quebradiça é a rocha, enquanto nas rochas de granulação fina (microgranito, por exemplo) a resistência ao fraturamento é maior. Considerando estes aspectos, COSTA & SILVA (1997) propuseram a seguinte relação de potencialidade (condições de armazenamento em suas fraturas) das rochas, em ordem decrescente:

- pegmatitos;

- gnaisses, migmatitos (epibolíticos), quartzitos e cataclasitos;
- micaxistos e calcário cristalino (mármore);
- granitos, dioritos, sienitos, gabros, migmatitos homogêneos;
- ardósias, filitos, sericita-xistos.

Uma outra situação litológica favorável é a do contato entre duas unidades litológicas distintas, tais como entre um granito e um gnaiss, ou entre um migmatito e um micaxisto (COSTA & SILVA, 1997). Além disso, o contato de pequenos corpos intrusivos com grandes diferenças texturais e/ou mineralógicas com relação às encaixantes pode apresentar uma maior permeabilidade, devido ao fraturamento gerado por mecanismos de intrusão (FERNANDES, 1997).

Quanto ao manto de intemperismo, o tipo de rocha exerce influência na sua permeabilidade. Segundo UNESCO (1984) algumas rochas, tais como dioritos, gabros e diabásios desenvolvem manto de intemperismo bastante impermeável, enquanto que o derivado de quartzitos, gnaisses quartzosos e metarenitos apresentam maior permeabilidade.

Estruturas geológicas

As estruturas geológicas constituem o fator mais importante no problema de potencialidade da água subterrânea em rochas fraturadas. As principais estruturas rúpteis favoráveis à infiltração e acumulação de água são: as falhas ou paráclases, fraturas ou diáclases, juntas de origens diversas e planos de xistosidade e de clivagem (COSTA & SILVA, 1997).

Segundo estes autores, dentre as falhas ou paráclases, a mais favorável é a normal ou falha de gravidade, pois, sendo originada por esforços tracionais, tende a, na maioria dos casos, propiciar descontinuidades com maiores aberturas. As falhas provenientes de esforços compressivos (falhas inversas e transcorrentes) acarretam planos muito fechados, sobretudo as transcorrentes que são associadas a processos de milonitização e cataclase dos minerais.

Em diaclasamento, destacam-se os seguintes tipos de fraturas:

- fratura transversal (tipo ac de Sander) de esforço tracional (Figura 12), que em geral possui maior abertura;
- fratura paralela ao eixo da dobra (tipo bc de Sander), também decorrente de esforço tracional, na parte externa da dobra (Figura 13);
- fratura longitudinal por alívio de pressão (também correspondendo ao tipo bc de Sander) e decorrente ainda de esforço tracional, quando dos movimentos epirogenéticos positivos (Figura 14);
- juntas de descompressão ("sheet joints") que se devem a processos exógenos, de alívio de pressão pela erosão superficial, acarretando assim esforços tracionais (Figura 15).

Quanto às rupturas por cisalhamento, que tanto podem acarretar falhas do tipo transcorrente, como simples fraturas longitudinais ou angulares (tipo hko ou hol de Sander) são sempre desfavoráveis para a locação de poços, pois as suas aberturas são muito reduzidas, chegando mesmo a serem "reseladas", nos casos de milonitização.

Dentre as juntas de origem diversas, além das de descompressão ("sheet joints"), podem ainda ser mencionadas as juntas de resfriamento, originadas na consolidação de rochas vulcânicas de grã fina como os basaltos. Essas juntas são em geral quase "soldadas", desempenhando um reduzido papel como conduto e armazenamento da água.

Os planos de descontinuidade originais das rochas metamórficas, como a xistosidade dos micaxistos ou a clivagem das ardósias também desempenham uma certa importância, principalmente quando associados às estruturas naturais, aumentando-lhes a intercomunicação e, conseqüentemente, a permeabilidade do maciço rochoso. A percolação de água ao longo desses planos de descontinuidade original faz-se muito lentamente, muitas vezes por forças capilares, mas desempenham importante papel nos processos de decomposição química, sendo muito comum encontrar-se as superfícies desses planos completamente oxidadas.

A associação do diaclasamento com o dobramento e com as descontinuidades desempenha importante papel na indicação para a locação de poços. Assim, as estruturas dobradas decorrentes de esforços compressivos de elevada intensidade, acarretando mergulhos dos flancos das dobras, com ângulos superiores a 60° são em geral desfavoráveis, pois em tais situações as rochas adquirem maior plasticidade e menor

Figura 12 – Quando o estado de tensões atuante corresponde ao representado pelos eixos a , b , c , podem se desenvolver fraturas de cisalhamento ($hk0$ de Sander) ou de tração (ac) (COSTA & SILVA, 1997).

Figura 13 – Fraturamento em dobras de grande raio de curvatura. A fratura mais central coincide com o plano axial e contém a crista da dobra (fratura bc de Sander). As demais desse tipo (paralelas a bc) apresentam ligeiro mergulho para o centro da dobra (COSTA & SILVA, 1997).

Figura 14 – Fraturas longitudinais desenvolvidas ao longo dos planos de xistosidade, por alívio de pressão (COSTA & SILVA, 1997).

Figura 15 – Esquema da formação das juntas de descompressão ou "sheet joints". Por erosão, a tensão σ_3 passa de compressiva para tracional, acarretando o fendilhamento paralelo à superfície topográfica (COSTA & SILVA, 1997).

desenvolvimento, além de possuir planos mais fechados de descontinuidades originais. Ao contrário, os dobramentos cujos flancos apresentem ângulos de mergulho inferiores a 30° , propiciam maiores aberturas em fraturas longitudinais (tipo *bc* de Sander) e maiores possibilidades de armazenamento de água ao longo dos planos de descontinuidade originais.

3.4.2.2.2 - Fatores exógenos

Clima

O clima é um fator controlador indireto na capacidade de armazenamento de água, pois sua influência está relacionada aos processos de intemperismo da rocha e

conseqüente formação de um manto de intemperismo ou regolito. O intemperismo químico é dominante em clima tropical úmido, podendo alcançar profundidades de dezenas de metros, enquanto o intemperismo físico predomina em climas áridos ou semi-áridos, produzindo em conseqüência, solos muito delgados, de apenas alguns centímetros, eventualmente chegando a um ou dois metros.

Relevo

A configuração do relevo é de grande importância para a capacidade ou volume de água produzido no cristalino. (COSTA & SILVA, 1997).

Estudos realizados nos Estados Unidos e Canadá por LEGRAND (1959 *apud* COSTA & SILVA, 1997), revelaram que independentemente do tipo de rocha, a pior situação morfológica para a locação de um poço é no topo de uma elevação (colina, monte, etc) e secundariamente, nos flancos ou vertentes da elevação, ao contrário, a melhor situação morfológica, situa-se nas depressões, secundadas por áreas de planície.

Num outro estudo, PARIZEK & SIDDIQUI (1969 *apud* FERNANDES, 1997) verificaram que poços perfurados na base de vales chegam a ser oito vezes mais produtivos do que nos terrenos de topo, e que aqueles perfurados nas encostas também tendem a ser mais produtivos, quando comparados aos de topo.

Por outro lado, HENRIKSEN (1995) acredita que áreas planas, inclusive topograficamente elevadas, também podem ser significativamente produtivas, devido ao fato de que os vales e as áreas planas (mesmo elevadas) apresentam coberturas superficiais mais espessas e recarga adicional de corpos de água superficial.

Hidrografia

A hidrografia exerce influência no armazenamento de água em sub-superfície quando ocorre a coincidência da drenagem superficial com zonas fraturadas do embasamento rochoso, caracterizando a feição conhecida como riacho-fenda. Nessa situação existe a condição de infiltração de água nas aberturas de rocha proporcionadas pelos fraturamentos, com possibilidades favoráveis de armazenamento no subsolo.

Vegetação

A vegetação, assim como o clima, atua de maneira indireta no armazenamento de água no subsolo, pois à medida que dificulta o escoamento superficial, propicia condições de maior infiltração. Além disso, quanto maior é a cobertura vegetal, mais elevada é a evapotranspiração e, conseqüentemente, maiores serão as precipitações que irão proporcionar melhores condições de recarga aos aquíferos. Ao contrário, em regiões de vegetação escassa (mesmo nas regiões de mata chuvosa e do sertão semi-árido), as precipitações também o serão, diminuindo a taxa de recarga dos aquíferos.

Há de se ressaltar também, que mudanças do regime de escoamento superficial e subterrâneo (conseqüência do desmatamento e das diversas formas de uso do solo), são apontadas como principal causa dos processos erosivos.

Infiltração de soluções e detritos

As soluções com elevada concentração de sílica, associada ou não ao ferro, podem produzir a cimentação total ou parcial das fraturas. Nesses casos, os reservatórios hídricos ficam definitivamente comprometidos, diminuindo ou até mesmo impermeabilizando totalmente o meio fraturado, que se transforma num aquífugo .

Se ao invés de substâncias dissolvidas, a água infiltrada carrear material detrítico, o efeito resultante poderá ser uma obstrução apenas parcial do meio fraturado, quando esses detritos são grosseiros (fração areia) ou uma impermeabilização quase total se o detrito for fino (fração argila).

Segundo COSTA & SILVA (1997) a origem do material pode estar ligada a:

- fragmentos da própria rocha fraturada (material autóctone), em geral nas fraturas de cisalhamento ou zonas de falha provocada por compressão (Figura 16-a);
- detritos de origem superficial, que penetraram em meio aquoso, de elevada turbidez, decantando no interior das fraturas (Figura 16-b);
- recristalização de sais que se precipitam através de soluções saturadas, em função da evaporação do meio líquido que os transportou. Esse processo pode produzir uma cimentação da fratura ou mesmo uma eflorescência (Figura 16-c);

- ascensão de soluções hidrotermais mineralizantes, solidificando-se em forma cristalina ou amorfa, em função do resfriamento (Figura 16-d).

Figura 16 - Tipos de infiltração e preenchimento de fraturas: (a) o material de preenchimento provém da própria rocha; (b) o material infiltrou-se em meio aquoso superficial decantando dentro da fratura; (c) o material entrou em solução a partir da superfície; (d) percolação por solução hidrotermal (COSTA & SILVA, 1997).

3.4.2.3 - Fluxo em meios fraturados

3.4.2.3.1 - Generalidades

Nos meios fraturados, com porosidade essencialmente de fraturas, o escoamento é determinado pela permeabilidade da matriz rochosa e pela condutividade hidráulica das descontinuidades.

Em rochas cristalinas, com baixo grau de porosidade, o escoamento pela matriz é praticamente nulo e as descontinuidades desempenham papel fundamental no escoamento. A comparação de medidas de permeabilidade efetuadas em matrizes rochosas indicam que esta é desprezível, em relação ao valor da condutividade hidráulica das descontinuidades.

Sendo a permeabilidade matricial geralmente inferior a 10^{-8} cm/s, a matriz pode ser considerada como impermeável, em comparação com as descontinuidades que, mesmo

com aberturas muito pequenas, apresentam valores de condutividade hidráulica significativamente maiores (Tabela 1), sendo estas que efetivamente controlam o fluxo nos maciços rochosos fraturados.

Tabela 1 - Comparação entre os coeficientes de permeabilidade de algumas rochas e de um maciço rochoso fraturado (QUADROS, 1982).

Rocha		Maciço rochoso com uma fratura por metro	
Natureza	Permeabilidade matricial (cm/s)	Abertura das fraturas (mm)	Permeabilidade na direção das fraturas (cm/s)
1 - Calcário Sedimentar	$0,36 \text{ a } 23 \times 10^{-13}$	0,1	$0,7 \times 10^{-4}$
3 - Arenito Carbonífero	$0,29 \text{ a } 6 \times 10^{-11}$	0,4	$0,5 \times 10^{-2}$
4 - Arenito Devoniano	$0,21 \text{ a } 2 \times 10^{-11}$	0,7	$2,5 \times 10^{-2}$
5 - Granito	$0,5 \text{ a } 2 \times 10^{-10}$	1,0	$0,7 \times 10^{-1}$
6 - Xisto	$0,7 \text{ a } 1,6 \times 10^{-10}$	2,0	0,6
7 - Calcário	$0,7 \text{ a } 120 \times 10^{-9}$	4,0	$0,5 \times 10$
8 - Dolomita	$0,5 \text{ a } 1,2 \times 10^{-9}$	6,0	$1,6 \times 10$

Portanto, interessam ao fluxo todas as descontinuidades presentes nas rochas, descontinuidades aqui entendidas como toda e qualquer estrutura que corta o maciço, englobando as diáclases, juntas, fraturas e falhas, tornando-o essencialmente descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Acamamentos, xistosidades, estratificações, etc., embora sejam estruturas do maciço, podem não se constituir em descontinuidades em relação ao fluxo d'água, uma vez que são feições intrínsecas à matriz rochosa.

Assim, é de importância considerar os diferentes tipos litológicos, pois as descontinuidades presentes estão intimamente ligadas à sua gênese e aos esforços a que estes estiveram submetidos durante a sua evolução.

Genericamente, pode-se dizer que os maciços sedimentares, quando não deformados, possuem descontinuidades essencialmente plano-horizontais, associadas aos planos de acamamento/estratificação, enquanto que nos maciços metamórficos, os planos de fraturamento e de xistosidade/gnaissificação são resultantes do tipo e da direção dos esforços que originaram as deformações. Por sua vez, os maciços magmáticos, conforme a

(intrusivos ou extrusivos, ácidos ou básicos, etc.), possuem padrões de descontinuidades totalmente diversos dos anteriores. Somem-se a estes, os fatores decorrentes do clima e relevo que condicionam a alteração superficial e o desenvolvimento de mantos de alteração, bem como a penetração ou não desta alteração ao longo das descontinuidades. Além disso, fatores da dinâmica interna e externa podem determinar condições de contorno, ou condições limites, criando ou destruindo fronteiras permeáveis ou impermeáveis no interior dos maciços.

A Figura 17 apresenta, de forma esquemática, modelos teóricos da distribuição da permeabilidade em diferentes tipos de maciços, em função da profundidade.

De modo geral, nos granitos e nas rochas de alto grau de metamorfismo, como gnaisses, migmatitos, granulitos, etc., a permeabilidade tende a zero em profundidade, devido ao confinamento. Em superfície, por alívio de tensões, as fraturas se encontram mais abertas, resultando não só em um aumento da permeabilidade do maciço, como também no desenvolvimento de juntas de tração. Estas são descontinuidades de andamento subparalelos à topografia e que mostram condutividades hidráulicas elevadíssimas (Figura 17-a).

Por outro lado, em vulcânicas extrusivas, como os basaltos, geradas por emissões sucessivas de lavas, a qualquer profundidade são esperadas descontinuidades subhorizontais de alta condutividade hidráulica (contato entre diferentes derrames), separadas por corpos tabulares praticamente estanques. Estes corpos tabulares podem apresentar no seu interior descontinuidades também subhorizontais, subparalelas aos contatos, também de elevada condutividade hidráulica (Figura 17-b).

Este comportamento é análogo àquele dos maciços de rochas sedimentares, ressalvado que as descontinuidades podem não ser tão expressivas e as condutividades hidráulicas tão elevadas. Em cada estrato, a permeabilidade é função da granulometria, imbricamento, tipo e quantidade de matriz e de cimento, etc. (Figura 17-c).

Nas rochas de médio a baixo grau metamórfico (xistos, filitos, etc.) verifica-se, em geral, um horizonte de rocha alterada bem desenvolvido e, embora a permeabilidade diminua com a profundidade, esta diminuição não é tão pronunciada quanto aquela verificada nas rochas magmáticas intrusivas ou de alto grau metamórfico. Normalmente, a passagem da zona de rocha alterada para a rocha sã é relativamente brusca, havendo, concomitantemente, uma diminuição significativa na permeabilidade do maciço.

Figura 17 – Comportamento esperado da permeabilidade em diferentes litologias em função da profundidade (AZEVEDO & ALBUQUERQUE, 1998).

Freqüentemente, estes maciços são entrecortados por veios de quartzo ou de outros materiais, remobilizados ou não, que conferem, localmente, permeabilidades elevadas ao maciço, favorecendo a ocorrência de alteração e elevadas permeabilidades, mesmo a níveis profundos. Horizontes mais argilosos podem resultar em trechos menos permeáveis na zona alterada (Figura 17-d).

Depreende-se que conhecer as características dos maciços, e particularmente das discontinuidades, é de extrema importância para o estudo da permeabilidade em meios fraturados. Nestes, os principais parâmetros que influenciam o escoamento são :

- orientação espacial das famílias de discontinuidades (atitude);
- abertura das discontinuidades (e);
- espaçamento entre as discontinuidades (l);
- rugosidade absoluta das paredes (R_a).

Dentre todos estes parâmetros, abertura e rugosidade (Figura 18) constituem os mais importantes para o estudo do escoamento em meios fraturados e a sua determinação pode ser efetuada mediante as leis que governam o fluxo d'água nas fraturas.

Figura 18 - Maciço rochoso fraturado, evidenciando os parâmetros de interesse ao fluxo (RISSLER, 1978 *apud* QUADROS, 1982).

3.4.2.3.2 - Fluxo em maciços rochosos

Os maciços rochosos são entrecortados por diversas famílias de discontinuidades, cada qual com sua atitude e uma distribuição do espaçamento e abertura de fraturas que lhes são particulares. Em geral, as fraturas nos maciços são de dimensões finitas quando comparadas à escala do problema, porém o fluxo em uma fratura não é independente das demais, ou seja, para percolar através das fraturas em uma certa direção, o fluido terá que

percolar através de fraturas em outras direções que se interconectam às primeiras (CELESTINO, 1986). Portanto, não é possível tratar de forma individual cada uma das fraturas presentes no maciço.

Para a determinação dos parâmetros hidráulicos de maciços rochosos são utilizados basicamente dois métodos: amostragem de fraturas e ensaios hidráulicos de campo.

O primeiro método baseia-se na obtenção de informações acerca do sistema de fraturas do maciço (número de famílias, orientação, abertura, espaçamento, preenchimento, etc.), a partir do qual é obtido, por determinação analítica, um tensor de permeabilidade (Figura 19), ou seja, a determinação no espaço, dos módulos e das direções principais (triorragonais) de permeabilidade (ex. SNOW, 1966; LOUIS, 1974; ROCHA & FRANCIS, 1977).

Figura 19 - Elipsóide de condutividade hidráulica num sistema de referência X, Y, Z (QUADROS, 1992).

O método de amostragem de fratura é feito preferencialmente dentro de furos de sondagem e pode empregar diferentes técnicas como: obturador de impressão, videoscopia e Teste de Registro Hidráulico (TRH), conforme explicados por SOUZA et al., (1998) em seguida. O obturador de impressão é um equipamento que permite registrar todos os sinais físicos do maciço, exibidos nas paredes dos furos de sondagem. O obturador consiste numa mangueira fina, de borracha mole, muito plástica que, quando pressionada contra a parede do furo, por um obturador inflável, fica permanentemente marcada com as suas irregularidades. Este equipamento pode ser orientado em relação às coordenadas geográficas, desde a superfície do terreno, com um hasteamento rígido dotado de uma bússola. Na videoscopia, câmaras de vídeo miniaturizadas e com fonte de luz permitem a

obtenção de imagens das paredes dos furos, cujas distorções são corrigidas por meio de processamentos em computador, permitindo a obtenção de vistas planas. Equipamentos mais avançados podem reproduzir a figura tridimensional virtual dos testemunhos, a partir das informações das paredes, por meio de imagens digitais, permitindo obter as orientações das estruturas geológicas. O TRH é um dispositivo para registro dos caminhos de percolação d'água em furos de sondagem. Ele marca, em uma tela permeável, colocada junto da parede do furo, a passagem de água com corante, injetada desde a superfície. Os caminhos de percolação ficam marcados na tela como faixas pintadas de 1 a 3 cm de largura.

A maior dificuldade associada a este método é a obtenção de informações representativas do sistema de fraturamento. No método estão implícitas, ainda, hipóteses de uniformidade das variáveis dos sistemas de fraturas, além de sua extensão infinita, quando, na realidade, estas grandezas são estatisticamente distribuídas de diferentes formas, como, por exemplo, o espaçamento que apresenta nos maciços uma distribuição exponencial; a abertura, uma distribuição log normal; a orientação, uma distribuição normal hemisférica, etc. (CELESTINO, 1986).

Os métodos de ensaios hidráulicos de campo, por outro lado, são baseados em resultados de ensaios de bombeamento ou injeção d'água, nos quais a influência individual dos vários parâmetros do sistema de fraturas se integram nos próprios resultados dos ensaios. Nestes métodos, a principal dificuldade que se interpõe é a determinação de um volume de ensaio que seja representativo do maciço rochoso, denominado de **Volume Elementar Representativo (V.E.R.)**, cujo conceito é apresentado na Figura 20.

Com o aumento do volume do maciço, sua permeabilidade média varia bruscamente pela inclusão de novas fraturas ou de novas porções de matriz rochosa. A partir de certo volume, estas novas inclusões não mais interferem significativamente na média, sendo, então, definido o Volume Elementar Representativo. O V.E.R. deve ainda ser pequeno o bastante para que o gradiente hidráulico seja constante no seu interior e grande o suficiente para que todas as feições condicionantes, na escala do problema, sejam englobadas.

Caso não sejam atendidas estas condições, o meio não poderá ser assemelhado a um meio homogêneo equivalente, não sendo válidos, portanto, os preceitos estabelecidos pela Lei de Darcy.

Estudos efetuados por diversos autores (ex. LONG et al., 1982; LONG & WITHERSPOON, 1985) têm demonstrado que, a partir de uma certa escala, certa

Figura 20 - Conceito de Volume Elementar Representativo (V.E.R.) (BEAR, 1972).

densidade de fraturas e valores relativos de condutividade hidráulica, é possível adotar a aproximação de maciço homogêneo equivalente.

Embora diversos métodos para determinação dos parâmetros hidráulicos de maciços rochosos tenham sido desenvolvidos, quase todos apresentam limitações, resultantes da própria dificuldade em se reproduzir a complexidade estrutural dos maciços, o que implica, muitas vezes, em simplificações necessárias ao equacionamento dos problemas mas que, nem sempre, correspondem à realidade.

Atualmente, o método mais promissor e que apresenta melhores resultados é o método de HSIEH, que consiste na injeção ou bombeamento de água em um trecho de um furo e observação em trechos de furos circunvizinhos (Figura 21). O método baseia-se na solução geral do problema da variação de carga hidráulica com o tempo, em um ponto qualquer de um meio anisotrópico, causada pela injeção ou bombeamento de uma vazão constante em um outro ponto do mesmo meio. Para execução deste ensaio não se requer conhecimento prévio das direções principais do fraturamento. Os furos de ensaio podem ser executados em quaisquer direções e os volumes ensaiados podem ser controlados pela escolha do espaçamento entre os furos de injeção e os de observação. Não é necessária a elaboração de nenhuma hipótese, a "priori", sobre qualquer propriedade das fraturas. O método é capaz ainda de detectar a presença, nas proximidades da região ensaiada, de uma feição muito permeável, ou muito impermeável, não interceptada pelos furos de ensaio (QUADROS, 1992).

Figura 21 - Trajetórias de fluxo nos ensaios direcionais. Esquematização para três furos e quatro trechos de ensaios e observação (QUADROS, 1992).

Nos casos mais simples, e para avaliações mais grosseiras da permeabilidade de maciços rochosos, pode-se utilizar a seguinte equação:

$$K_M = \frac{e}{l} K_f + K_r \quad (\text{equação 1})$$

sendo:

K_M = permeabilidade do maciço rochoso;

e = abertura das fraturas;

l = espaçamento entre fraturas;

K_f = permeabilidade das fraturas;

K_r = permeabilidade da matriz rochosa.

A permeabilidade da matriz rochosa é, via de regra, muito baixa, podendo ser desprezada. Desta forma, a equação 1 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$K_M = \frac{g \cdot e^3}{12 \nu} \quad (\text{equação 2})$$

onde:

g = aceleração da gravidade

ν = viscosidade dinâmica da água

Na prática, a determinação da abertura das fraturas de maciços rochosos é extremamente difícil. Neste caso, o conceito de transmissividade ($T=K.b$), determinada a partir de ensaios de bombeamento "in situ", pode ser usado, com vantagem, eliminando-se a necessidade da determinação imprecisa tanto de (e) quanto de (K_f). Admite-se que a espessura saturada do meio (b) corresponde à abertura equivalente das fraturas.

Em inúmeros casos práticos, a permeabilidade dos maciços é estimada a partir de ensaios pontuais de permeabilidade (perda d'água sob pressão, infiltração, bombeamento, etc.), obtendo-se valores de condutividade hidráulica equivalente. Mais recentemente, a utilização de obturadores duplos especiais tem possibilitado a realização de ensaios de perda d'água sob pressão em múltiplos estágios (QUADROS, 1992) e a determinação mais precisa dos parâmetros hidráulicos das fraturas.

3.4.3 - Características hidrogeológicas do aquífero cristalino da RMSP

O domínio de rochas cristalinas da RMSP tem uma extensão da ordem de 6.599 km², onde as condições predominantes de ocorrência das águas subterrâneas são de aquífero livre, heterogêneo e anisotrópico (CEPAS, 1994).

Segundo avaliação da tendência dos potenciais hidrogeológicos do aquífero cristalino da Região Metropolitana de São Paulo realizada por CEPAS (1994), as rochas granitóides de granulação variada e as rochas predominantemente gnáissicas (unidade PEgo – Figura 7) apresentam uma tendência relativamente alta de potenciais hidrogeológicos, em função do caráter rúptil predominantemente, e/ou manto de intemperismo, em geral, mais arenoso. Por outro lado, os micaxistos, com quartzitos e metassiltitos subordinados e as rochas metacarbonáticas, compõem o domínio da tendência média, devido ao caráter relativamente dúctil, sobretudo, em função da alta argilosidade do manto de intemperismo. Local e ocasionalmente, a presença dos corpos quartzíticos ou de rochas metacarbonáticas, podem resultar em poços de produtividade excepcional (superiores a 50 m³/h).

A espessura média do manto de intemperismo na RMSP é estimada em 50 m podendo atingir, local e ocasionalmente, valores de até 150 m (REBOUÇAS, 1992).

A capacidade específica média dos poços profundos no aquífero cristalino, conforme estudo do DAEE (1975), é de $0,34 \text{ m}^3/\text{h.m}$, variando de $0,06$ a $0,7 \text{ m}^3/\text{h.m}$. Entretanto, deve-se notar que 80% dos poços apresentam um valor de capacidade específica igual ou inferior à média. A vazão média dos poços é da ordem de $7 \text{ m}^3/\text{h}$, podendo atingir até $90 \text{ m}^3/\text{h}$, no entanto metade deles apresenta vazão igual ou inferior a $2 \text{ m}^3/\text{h}$.

Em geral, os coeficientes de condutividade hidráulica variam entre 10^{-6} a 10^{-7} m/s no terço superior do perfil, e entre 10^{-3} a 10^{-4} m/s na zona de transição entre a rocha alterada e a rocha relativamente sã (REBOUÇAS & CAVALCANTE, 1987). Nas zonas de rochas fraturadas os coeficientes de condutividade hidráulica situam-se nas ordens de grandeza da seção inferior do manto de intemperismo, devido ao preenchimento das feições lineares por esses produtos de alteração (CEPAS, 1994).

Segundo MENEGASSE (1991), nos metassedimentos do Grupo São Roque da porção noroeste da Grande São Paulo, as profundidades mais freqüentes dos poços tubulares situam-se entre 100 e 150 m, com profundidades de entrada de água principalmente entre 50 e 100 m. Já na região de Guarulhos, a profundidade média dos poços é de 193 m, com principais entradas de água entre 150 a 210m (DINIZ, 1996).

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Levantamento geológico

O levantamento geológico se deu em três etapas distintas: levantamento de dados na literatura, interpretação fotogeológica e levantamentos de campo.

Na primeira etapa foi dada ênfase ao levantamento de mapas geológicos existentes que englobam a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e seus arredores, destacando-se, assim, os mapas de COUTINHO (1972) - escala 1:100.000, EMPLASA (1980) - escala 1:100.000, IPT (1981b) - escala 1:500.000 e CEPAS (1984) - escala 1:50.000 (folha Mauá).

A etapa seguinte consistiu-se da análise de fotografias aéreas para o traçado dos contatos geológicos, na escala 1:10.000, de levantamento efetuado por BASE S.A. para ELETROPAULO, em 1986, e para o traçado de fraturas e falhas, na escala 1:40.000, de levantamento efetuado por TERRAFOTO S.A. para EMPLASA, em 1977. O traçado das fraturas e falhas teve como base a metodologia desenvolvida por SOARES & FIORI (1976), através do estudo dos elementos texturais de drenagem que, quando retilíneos e em arco, constituem as lineações de drenagem. O resultado deste trabalho foi o mapa de lineamentos apresentado no capítulo 5 (item 5.1.2).

Os levantamentos de campo foram realizados em diversas fases ao longo desta pesquisa e tiveram por objetivos a aferição dos dados levantados na literatura e daqueles obtidos da fotointerpretação, além do levantamento de dados estruturais. Foram cadastrados 15 (quinze) afloramentos que, na sua maioria, constituíam exposições de rochas extremamente alteradas, com exceção daqueles afloramentos de granito-gnaiss em cavas de pedreiras, na porção norte da área, onde se observa a rocha sã. Além da descrição dos afloramentos foram coletadas algumas amostras de rocha para eventual análise macroscópica em laboratório. No levantamento de dados estruturais foram tomadas medidas de atitudes de estruturas planares (bandamento, xistosidade, fraturas e falhas) e estruturas lineares (estrias) das rochas, com o uso de uma bússola Brunton. Os dados estruturais obtidos foram convertidos para o sistema de leitura Clar e são apresentados no Anexo 1. Para o tratamento destes dados foram utilizados os "softwares" stereoNet (versão 2.06 - 1992-1993) - diagramas de Schmidt-Lambert e diagramas de contorno, ROSAC (desenvolvido no Agrupamento de Geologia Aplicada a Obras do IPT) - diagramas de rosáceas e TRADE - tratamento de falhas pelo Método de Angelier.

4.2 - Levantamento do uso e ocupação territorial

Diante da impossibilidade de utilização de imagens de satélite para o levantamento de uso e ocupação, por razões de incompatibilidade de escalas, utilizou-se, na etapa inicial, fotografias aéreas na escala 1:5.000, de levantamento efetuado por BASE S.A. para PMSP-RESOLO, em 1996, através das quais foi elaborado o mapa de uso e ocupação por IEZZI (1999), que será apresentado neste estudo (capítulo 5 - item 5.2).

Em seguida, foi realizado um levantamento de dados na literatura visando principalmente o cadastramento de fontes potenciais de contaminação da água subterrânea. Neste sentido, destacou-se o levantamento ambiental realizado pela PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996), na área denominada "Passagem Funda" (situada dentro da área Fazenda do Carmo), que relata atividades potencialmente poluidoras e a disposição inadequada de resíduos sólidos. Este levantamento foi complementado com trabalhos de campo que identificaram e catalogaram novos pontos de disposição irregular de resíduos sólidos, distribuídos em toda a área de estudo. Durante os trabalhos de campo também foram cadastradas as empresas e estabelecimentos existentes na área, totalizando 126 (cento e vinte e seis) pontos (Anexo 2). Estes, juntamente com as fontes potenciais, tiveram suas localizações registradas por um aparelho GPS ("Ground Positioning System") - Garmin GPS II plus, para posterior plotagem em mapa.

4.3 - Levantamento hidrogeológico

4.3.1 - Cadastramento de poços e pontos d'água

Esta etapa compreendeu o levantamento de campo de poços tubulares, cacimbas (poços escavados) e fontes existentes na região, através de diversas visitas realizadas em quase todas as indústrias, estabelecimentos e propriedades, como sítios e chácaras da área. No total foram cadastrados 131 (cento e trinta e um) poços, sendo 98 (noventa e oito) cacimbas e 33 (trinta e três) poços tubulares, além de 6 (seis) fontes.

As informações relacionadas aos poços tubulares foram obtidas principalmente através de informações verbais dos proprietários dos poços e, secundariamente, por meio de fichas técnicas (nove) cedidas por alguns proprietários e por algumas empresas perfuradoras que operaram na região, como a JUNDSONDAS (Jundiaí-SP), TRIGILL (Santo André-SP) e HIDROGESP (São Paulo-SP). Os motivos de se obter tão poucas fichas

técnicas é que muitos proprietários alegaram não as possuírem, em virtude dos poços terem sido construídos pelas empresas anteriores e que algumas empresas perfuradoras não concordaram em ceder os dados alegando questões de ética profissional. Além disso, no geral, as fichas técnicas apresentaram mais dados sobre os aspectos construtivos dos poços do que referentes à produção dos mesmos, sendo que em algumas delas os perfis geológicos deixaram dúvidas até mesmo quanto às litologias perfuradas.

No caso das cacimbas, as profundidades, níveis estáticos e diâmetros da maioria dos poços foram obtidos "in situ", usando-se uma trena e um medidor de nível. Nesta fase também foram coletadas informações sobre os aspectos construtivos das cacimbas, através de observações diretas, e sobre o uso das águas e vazões de exploração dos poços.

Procurou-se plotar a localização dos poços visitados por meio dos mapas e fotografias aéreas disponíveis, utilizando-se as coordenadas obtidas pelo GPS somente nos casos em que isto não era possível.

Numa ordem inversa, após o cadastramento de poços no campo, foi feita uma consulta no banco de dados do DAEE, que revelou a existência de apenas um poço tubular na área de estudo (poço 36), evidenciando assim a falta de diálogo entre as empresas perfuradoras e este órgão.

Dentre os poços levantados, alguns já haviam sido cadastrados por CEPAS (1994) - 1 (um) poço tubular e pela PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996) - 3 (três) poços tubulares e cinco cacimbas, os quais foram visitados neste cadastramento.

4.3.2 - Análises químicas

As análises químicas das águas neste estudo foram realizadas em duas fases, com objetivos distintos. Na 1ª fase (realizada em dezembro/98) o objetivo foi avaliar a qualidade das águas, sendo analisadas 27 (vinte e sete) amostras (23 de poços cacimbas, 3 de poços tubulares e 1 de fonte). Na 2ª fase (realizada em agosto/setembro/99) foram analisadas 11 (onze) amostras de poços cacimbas dentre aquelas analisadas na 1ª fase, com o objetivo de verificar o grau de confiabilidade dos resultados obtidos, já que na primeira fase não foram coletadas amostras duplicatas. As 11 (onze) amostras correspondem a 6 (seis) poços que foram amostrados duas vezes, com exceção de um deles.

A seleção dos pontos de amostragem procurou seguir dois critérios, na 1ª fase, conforme discriminados a seguir, enquanto na 2ª fase a seleção foi aleatória:

- a) proximidade de locais de disposição de resíduos industriais e domésticos no solo, para investigação quanto ao potencial poluidor;
- b) distribuição uniforme dos pontos, de modo a representar toda a área.

Em ambas as fases os elementos analisados foram os seguintes:

- cátions: Ag^+ , Al^{3+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Cr_{total} , Cu^{2+} , Fe_{total} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} ;
- ânions: Br^- , Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} .

Os cátions Cd^{2+} , Cr_{total} , Ni^{2+} , Pb^{2+} foram escolhidos por estarem presentes nos principais componentes químicos de tintas e solventes, usados amplamente nas atividades industriais potencialmente poluidoras cadastradas na área.

As análises químicas foram realizadas no *Laboratório de Hidrogeoquímica II do Centro de Pesquisas de Água Subterrânea da Universidade de São Paulo (CEPAS-USP)*, utilizando-se os seguintes métodos e aparelhos, respectivamente:

- Na^+ , K^+ : fotometria de chama (Fotômetro B 262 da Micronal);
- ânions: cromatografia líquida (DIONEX 2010i);
- os demais cátions: espectrofotometria (Absorção Atômica CG AA 7000 BCE).

As técnicas de coleta e preservação das amostras de água se basearam principalmente na metodologia proposta por CETESB (1987), conforme descritas a seguir.

Idealmente, no caso de poços ou piezômetros em repouso, é recomendado o esgotamento do poço duas a três vezes o seu volume para evitar a coleta de amostras não representativas do aquífero, estagnadas e/ou contaminadas, entretanto, visto que os poços amostrados neste estudo estão em constante uso e que os volumes de água são reduzidos, as amostras foram coletadas após um período de cinco minutos de bombeamento.

No caso dos poços cacimbas, as amostras foram coletadas através das mangueiras acopladas às bombas elétricas, com exceção de dois poços na primeira fase e dois na segunda fase e, no caso dos poços tubulares (três poços), através de torneiras ou

tubulações nas entradas de caixas d'águas. Em ambos os casos, utilizou-se para a coleta da água os próprios frascos onde foram armazenadas as amostras. A técnica empregada para coletar as amostras dos poços não bombeados na primeira fase (pontos 25 e 87) foi o uso de um amostrador metálico, cilíndrico, que possui na sua base uma válvula esférica que veda a passagem da água após o enchimento do amostrador. Na segunda fase foi usado um amostrador "bailer" de polietileno, descartável, para a coleta nos pontos 71 e 91.

Os frascos utilizados para o armazenamento das amostras foram frascos de polietileno, novos, de 125 mL, por serem os mais recomendados para os parâmetros físico-químicos analisados. O volume de água coletado, por amostra, para as análises de cátions foi de 125 mL e para as de ânions de 115 mL, aproximadamente, conforme instrução do laboratório.

Após a coleta, cada amostra foi devidamente identificada através de uma etiqueta contendo o número da amostra, ponto de amostragem, parâmetros a serem analisados e nome do responsável pela coleta.

No intervalo de tempo entre a coleta de amostras d'água e a realização das análises no laboratório, podem ocorrer modificações físico-químicas, biológicas e radiológicas na amostra, que alteram as características da água amostrada. Para evitar, diminuir ou retardar essas modificações, faz-se necessário o uso de técnicas adequadas de preservação e armazenamento das amostras d'água subterrânea (SANTOS, 1997). Desta forma, as técnicas de preservação de amostras empregadas neste estudo foram: acidificação, refrigeração e congelamento.

Para acidular as amostras foi utilizado o ácido nítrico concentrado - 16 N (3 a 4 gotas por amostra, conforme instrução do laboratório), adicionando-o à amostra imediatamente após a coleta. Esta técnica foi aplicada para a preservação dos cátions, exceto o Na^+ e K^+ . A acidulação propicia a queda no valor de pH para o intervalo entre 1 e 2 evitando desta maneira, a precipitação ou a adsorção, por exemplo, de alguns metais na superfície do recipiente.

Para a preservação dos ânions, as técnicas empregadas foram a refrigeração e o congelamento. As amostras foram mantidas sob refrigeração, numa caixa de isopor com gelo, desde a coleta até a chegada ao laboratório, onde passaram imediatamente para o freezer para serem congeladas, até serem analisadas. Esta última técnica propicia aumentar o intervalo entre a coleta e a análise da amostra, sem comprometer o resultado das análises.

Para evitar qualquer tipo de contaminação é de fundamental importância a limpeza dos frascos e material de coleta, assim, antes da coleta, o coletor foi lavado com água deionizada e posteriormente com a própria água do poço, aplicando-se este último procedimento também aos frascos e tampas.

Em função de modificações nas condições físico-químicas que podem ocorrer nas amostras de água durante a coleta, é necessário que alguns parâmetros como pH, Eh, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade, etc. sejam obtidos em campo. Assim, tal procedimento foi adotado neste estudo, utilizando-se os seguintes equipamentos e materiais:

- para leitura do pH e Eh: pHmetros (WTW - pH/mV Hand Held Meter pH 330/340) e (ORION - Quikcheck 106);
- para medição da temperatura e da condutividade elétrica: condutivímetros (WTW - Conductivity Hand Held Meter LF 330/340) e (ORION - Quikcheck 116);
- para a determinação da alcalinidade: copos plásticos descartáveis, conta-gotas, indicador misto (verde de bromo cresol + vermelho de metila) e ácido sulfúrico (0,1070N).

Os eletrodos e os frascos utilizados para a determinação destes parâmetros foram devidamente lavados com água deionizada e enxugados com papel absorvente, a cada troca de amostra, para evitar contaminação entre elas. Além disso, as determinações foram feitas em alíquotas de amostra separadas daquelas enviadas ao laboratório, para evitar o risco de contaminação.

As amostras nas quais não constam estes parâmetros é devido ou a problemas com os equipamentos ou ao fato destes últimos não estarem disponíveis em alguns dias de campo.

Deve-se ressaltar também, que a alcalinidade das amostras coletadas na 1ª fase foi determinada em laboratório, enquanto as da 2ª fase, em campo. O método utilizado para a determinação da alcalinidade em ambas as fases foi o de Titulação Alcalinimétrica Completa (TAC), e os valores obtidos, neste caso, corresponderam à alcalinidade de bicarbonato, visto que para águas com $\text{pH} < 8,3$ a alcalinidade de bicarbonato coincide com a alcalinidade total.

Os resultados das análises da primeira fase foram obtidos num período de 40 a 120 dias após a coleta das amostras e, da segunda fase, após 42 a 55 dias.

5 - TRABALHOS REALIZADOS

5.1 - Levantamento geológico

5.1.1 - Caracterização geológica da área

De acordo com os trabalhos de investigação geológica de campo realizados nesta pesquisa, o substrato rochoso da área de estudo é formado basicamente por três grupos de rocha: filitos e xistos (PEf), granito-gnaiss (PEgo) e sedimentos quaternários (Qa) - Figura 22.

Os filitos e xistos são os litotipos predominantes, ocupando quase 2/3 da área. Em todos os pontos onde foram observadas estas rochas, o grau de intemperismo era bem avançado, de modo que foram descritos como saprolitos. O aspecto mais característico desses afloramentos é o de espessos pacotes de rochas intemperizadas de ampla distribuição lateral (Figura 23), que atingem localmente (afloramento 7) até 20m de espessura.

De um modo geral, esses saprolitos apresentam coloração cinza a marrom, variando, localmente, de vermelho a roxo, granulação fina e são ricos em micas (principalmente muscovita). Localmente (afloramento 4), a coloração cinza mais escura sugere a presença de grafita. A estrutura foliada é marcada por uma forte xistosidade (com exceção do afloramento 5), de direção NE, concordante com a tendência regional e, geralmente, apresenta-se ondulada.

Paralelamente à xistosidade, ocorrem intercalações de bandas quartzíticas de espessuras variáveis, milimétricas a decimétricas (até 30 cm), localmente segmentadas em forma de "boudins" (afloramento 3), bandas de composição granítica de espessuras centimétricas (1 a 5 cm) - afloramento 5, e bandas de composição micácea e coloração preta (afloramento 4). Subordinadamente, ocorrem ainda camadas quartzíticas de espessuras centimétricas discordantes à xistosidade (afloramento 3).

No mapa geológico (Figura 22) as rochas que ocorrem na porção meridional da área foram mapeadas por CEPAS (1994) como quartzitos, porém os afloramentos 6, 7 e 8 mostram a ocorrência de filitos e xistos com intercalações de bandas quartzíticas, fortemente intemperizados, iguais aos aflorantes no restante da área, por isso serão considerados como pertencentes à unidade PEf. Em contrapartida, as rochas metabásicas (PEa) apresentadas na porção sudeste do mapa geológico não foram observadas em campo nesta pesquisa, porém deve ser lembrado que atualmente o nível de ocupação é

Figura 22— Mapa geológico da área de estudo (modificado de CEPAS, 1994).

Figura 23 – Vista geral de perfil de intemperismo de xisto e/ou filito, num corte de estrada (afloramento 3).

muito maior do que na época daqueles mapeamentos, reduzindo, assim, o número de afloramentos.

Na porção setentrional da área (Figura 22) ocorre o granito-gnaiss, observado principalmente em cavas de pedreiras (afloramentos 9, 12 e 14), que explotam a rocha para a produção de pedra britada. Nestes afloramentos, o granito-gnaiss apresenta estrutura levemente bandada, evidenciada pela ocorrência de micas (biotita e muscovita) em níveis escuros intercalados a níveis claros formados por quartzo e feldspatos. As micas encontram-se orientadas nos níveis escuros desenvolvendo uma foliação paralela ao bandamento composicional e à xistosidade dos filitos e xistos. A rocha possui coloração cinza clara, granulação média e exibe diversos veios decimétricos de coloração esbranquiçada (composição quartzo + muscovita), de espessura variável, milimétrica a decimétrica (0,3 cm a 15 cm), que interceptam uns aos outros. Além disso, foi observado um bolsão pegmatítico (afloramento 14) formado por cristais centimétricos (até 2 cm) de feldspato e muscovita. O solo produzido por essa rocha possui coloração rosada, textura areno siltosa e pequenas espessuras (Figura 24). Segundo pesquisa realizada por CDH (1987), na área Fazenda do Carmo, os solos produzidos por essa rocha possuem granulometria variável, com predominância das frações areno-argilosas e espessuras que podem ultrapassar 18 (dezoito) metros.

Próximo à uma cava de pedreira foram observados sedimentos, pertencentes à Bacia de São Paulo (afloramento 10), provavelmente da Formação São Paulo devido sua ocorrência pontual, caracterizados como argilito de coloração amarela, bastante intemperizado, evoluindo para um solo de coloração vermelha a vermelha alaranjada,

Figura 24 - Afloramento de granito-gnaiss, em cava de pedreira, mostrando a pequena espessura do manto de intemperismo desenvolvida por este litotipo (afloramento 9). Altura aproximada do afloramento = 8 a 10 metros.

contendo argila e quartzo. Como sua ocorrência na área é localizada, aparece no mapa geológico (Figura 22) como uma pequena mancha.

Quanto às unidades quaternárias, os sedimentos coluvionares foram de fácil reconhecimento no campo (afloramento 6), pois geralmente formam uma linha de seixos no contato com os solos de alteração das rochas. As espessuras observadas desses sedimentos foram inferiores a 1,0 m. Os sedimentos aluvionares não foram descritos em campo, contudo, seus contatos foram definidos com base nas curvas de nível próximas às calhas das drenagens, observadas no mapa topográfico. Segundo CDH (1987), estas unidades ocorrem, na área Fazenda do Carmo, principalmente como aluviões junto às calhas das drenagens mais significativas, em regiões de planície. Estes aluviões são constituídos por areias e argilas, sendo o material argiloso o de maior expressão em área e volume, apresentando profundidades prováveis de até 4 (quatro) metros. Os sedimentos coluvionares ocorrem capeando os solos de alteração dos granitos, xistos e filitos em camadas de espessura variável, que raramente ultrapassam 2 (dois) metros.

5.1.2 - Análise estrutural

Conforme descrito no capítulo 4 (item 4.1), a primeira etapa do levantamento de dados estruturais foi o traçado das lineações de drenagem em fotografia aérea (dispostos aqui quase sempre em linha reta), que serão aqui denominadas de lineamentos, referindo-se a

traços de fraturas (juntas e falhas). Os lineamentos fotointerpretados estão representados na Figura 25.

Em seguida, usando o mapa de lineamentos como base, foram elaborados os diagramas de rosáceas que indicam as direções predominantes dos lineamentos, separados por litotipos, em relação à somatória dos seus comprimentos (Figura 26 a) e em relação apenas ao número de lineamentos (Figura 26 b).

Figura 25 – Mapa de lineamentos a partir de fotografia aérea (foto 331, faixa 8C).

GRANITO-GNAISSE
ROSACEA - TAMANHO DE LINEAMENTOS

N.LINEAMENTOS = 280
COMPRIMENTO TOTAL = 79478.569 m
FREQ. MAXIMA (EM NUMERO) = 27 (9.6%)
FREQ. MAXIMA (COMPRIMENTO) = 7719.539 m (9.7%)
INTERVALO ANGULAR = 10 graus

FILITOS E XISTOS
ROSACEA - TAMANHO DE LINEAMENTOS

N.LINEAMENTOS = 836
FREQ. MAXIMA (COMPRIMENTO) = 20738.940 m (9.7%)
COMPRIMENTO TOTAL = 213409.310 m
FREQ. MAXIMA (EM NUMERO) = 86 (10.2%)
INTERVALO ANGULAR = 10 graus

ROSACEA - NUMERO DE LINEAMENTOS

ROSACEA - NUMERO DE LINEAMENTOS

Figura 26 - Diagramas de rosáceas mostrando as direções predominantes dos lineamentos em relação ao tamanho (a) e ao número (b) de lineamentos.

A análise dos diagramas referentes ao tamanho dos lineamentos (Figura 26 a) revela que dentre as 4 (quatro) principais famílias de fraturas fotointerpretadas, entre os dois grupos de rocha, existe uma coincidência direta entre as primeiras famílias de ambos os grupos, enquanto que as demais são apenas próximas entre si, com exceção das 3^{as} famílias.

Por outro lado, ao se comparar as principais famílias destes diagramas (Figura 26 a) com os maiores lineamentos individuais nos granitos (N5-45E e N10-40W) e nos filitos (N10-45 W e N30-80E) (Figura 25), nota-se a ausência de relação entre elas, especialmente com aqueles grandes lineamentos de direção NW nos filitos. Isto indica que os maiores lineamentos individuais, apesar de terem tamanhos significativos, não representam as direções de maior anisotropia das rochas, que são dadas pela somatória dos comprimentos dos lineamentos. Estas direções de maior anisotropia são no caso dos granitos, N50-70E, e no caso dos filitos, N60-70E e N40-50E, segundo as duas primeiras famílias (Figura 26 a).

Isto implica que os lineamentos menores (Figura 25) são, no mínimo, mais representativos em termos de número de lineamentos (Figura 26 b).

Nestes últimos diagramas (Figura 26 b), ao se comparar as direções das principais famílias de fraturas entre os dois litotipos, observa-se uma coincidência direta entre as 2^{as} e as 3^{as} famílias, enquanto as primeiras são de direções opostas.

De posse desses dados partiu-se para os trabalhos de campo realizados em afloramentos, onde foram medidas as estruturas planares (bandamento composicional, xistosidade, fraturas e falhas) e estruturas lineares (estrias) das rochas. Essas medidas foram lançadas em diagramas de Schmidt-Lambert e diagramas de contorno, separados por estruturas e por tipo de rocha (granito-gnaiss; filitos e xistos), conforme apresentados nas Figuras 27 a 31.

Analisando a Figura 27, nota-se que o bandamento composicional e a xistosidade são sub-paralelos, com direção para NE variando entre 30° e 90° (Anexo 1). Esta direção se assemelha com as principais famílias de fraturas fotointerpretadas (Figura 26 a e b), nos filitos, o que pode estar indicando que muitos lineamentos fotointerpretados como fraturas, especialmente os menores, correspondem a traços de xistosidade. Esta hipótese é reforçada quando se compara as direções das principais famílias de fraturas medidas no campo (Figuras 28 a 31), conforme indicadas a seguir, e a direção da xistosidade.

Figura 27 - Diagrama de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) com os polos dos planos de bandamento do granito-gnaiss e dos planos de xistosidade dos filitos e xistos.

Figura 28 - Diagrama de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) com os polos dos planos das fraturas medidas no granito-gnaíse.

Figura 29 - Diagrama de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) com os polos dos planos das fraturas medidas nos filitos e xistos.

Valores das linhas de
isodensidades

Linhas	%
5	3.13
6	3.75
7	4.38
8	5.00
9	5.63
10	6.25
11	6.88
12	7.50
13	8.13
14	8.75
15	9.38
16	10.00

Figura 30 - Diagrama de contorno de densidade de polos dos planos de fraturas do granito-gnaiss.

Valores das linhas de
isodensidades

Linhas	%
3	4.62
4	6.15
5	7.69
6	9.23
7	10.77

Figura 31- Diagrama de contorno de densidade de polos dos planos de fraturas dos filitos e xistos.

Granito-gnaiss	Filitos e xistos
(1) N12W/83NE	(1) N27E/73SE
(2) N03E/85SE	(2) N19W/86NE
(3) N56W/82SW	(3) N35W/86NE
(4) N16W/87SW	(4) N36W/87SW

Como se pode observar, as direções das principais famílias de fraturas, nos dois grupos de rocha, não guardam nenhuma semelhança com a direção da xistosidade.

Comparando estas principais famílias de fratura com os lineamentos fotointerpretados (Figura 25) verifica-se a existência de certa correspondência entre suas direções e os maiores traços individuais de lineamentos, ao contrário do que se observou entre estes últimos e as principais famílias em termos de número de lineamentos (Figura 26 b).

Contudo, ao se confrontar os dados de campo (Figuras 28 a 31) com os resultados estatísticos obtidos de fotografia aérea (Figura 26 a e b), verifica-se a ausência de correspondência entre as principais famílias de fraturas, em ambos os litotipos, o que pode ser explicado pela diferença entre as populações de dados analisados, conforme indicados na Tabela 2, e devido à fotointerpretação ter abrangido uma área maior que a área de estudo.

Tabela 2 - Comparação entre populações de dados de fraturas obtidas em fotografia aérea e no campo.

Tipo de Rocha	Fotointerpretação	Campo
Granito-gnaiss	280 lineamentos	160 fraturas
Filitos e xistos	836 lineamentos	65 fraturas

5.1.2.1 - Análise cinemático-estrutural

Em trabalhos de prospecção de água subterrânea em aquíferos fraturados, a identificação das direções principais dos esforços tectônicos vigentes é uma das etapas mais importantes da análise estrutural dos maciços rochosos, que constituem os aquíferos, pois é a partir dessas direções que se reconhece as estruturas favoráveis ao armazenamento de água.

A identificação das direções principais de esforços é realizada através do estudo dos movimentos relativos dos planos de falha, a partir dos indicadores cinemáticos tais como: degraus formados por minerais, ressaltos, fendas de tração, estrias de atrito ou de cisalhamento, alternância de faces polidas e rugosas.

Durante a fase de mapeamento, especialmente na região das pedreiras (porção norte da área), foram medidas 24 (vinte e quatro) falhas de caráter predominantemente transcorrente (Anexo 1).

Os indicadores cinemáticos utilizados nesta pesquisa, para a caracterização dos movimentos, foram basicamente de duas naturezas: ressaltos e estrias de atrito, conforme ilustrados nas Figuras 32 a 35.

Figura 32 – Ressaltos em espelho de falha, em granito-gnaiss, indicando movimento dextral. A seta indica o sentido do movimento do bloco de cima (Figura 22 - afloramento 9).

Figura 33 - Ressaltos em espelho de falha, em granito-gnaiss, indicando movimento sinistral. A seta indica o sentido do movimento do bloco de cima (Figura 22 - afloramento 9).

Figura 34 - Ressaltos em plano de fratura, em bolsão pegmatítico, indicando movimento sinistral. A seta indica o sentido do movimento do bloco da frente (Figura 22 - afloramento 14).

Figura 35 – Ressaltos em plano de fratura, em granito-gnaiss, indicando movimento sinistral. A seta indica o sentido do movimento do bloco da frente (Figura 22 - afloramento 14).

Dentre as 24 (vinte e quatro) falhas, 17 (dezessete) tiveram a direção e o sentido do movimento (dextral ou sinistral) identificados no campo. Essas informações, juntamente com as orientações dos planos de falha e das estrias neles contidas, foram lançadas num diagrama de Schmidt-Lambert (projeção ciclográfica) para a determinação das direções dos esforços principais (σ_1 , σ_2 e σ_3). Com isso obteve-se quatro direções distintas para o esforço principal σ_1 , apresentados na Tabela 3.

Dentre estas 4 (quatro) direções, selecionou-se apenas os dois primeiros pares falha/estria para a elaboração dos diagramas dos diedros retos (Método de Angelier & Mechler - descrito no capítulo 3, item 3.3.1.2), por serem os mais representativos em número de medidas (Figuras 36 e 37), obtendo-se assim as regiões em que se encontra o tensor de esforço máximo σ_1 .

Conjunto de falhas com σ_1 horizontal N-S

Figura 36 - Análise pelo Método de Angelier das falhas geradas por um campo principal de esforço (σ_1) horizontal e N-S.

Conjunto de falhas com σ_1 horizontal E-W

Figura 37 - Análise pelo Método de Angelier das falhas geradas por um campo principal de esforço (σ_1) horizontal e E-W.

Tabela 3 - Direções do esforço principal σ_1 em função do número de estruturas observadas.

Direção do esforço principal σ_1	Pares falha/estria
N-S	7
E-W	6
NE-SW	2
NW-SE	2

Como não foram observadas evidências cronológicas referentes às falhas não é possível afirmar qual das direções representa a direção do esforço máximo vigente (σ_1). Contudo, com base nas conclusões de RICCOMINI (1995) e ASSUMPÇÃO (1998), que consideram um sistema compressivo E-W como o último evento atuante na região, a direção E-W estará sendo considerada neste estudo, como a que hoje condiciona o fluxo de água subterrânea no aquífero fraturado em estudo.

Sendo assim, ao se posicionar o esforço principal σ_1 na direção E-W sobre o mapa de lineamentos obtido através da fotointerpretação (Figura 25), têm-se uma indicação das prováveis fraturas abertas, na área de estudo, que são as mais favoráveis ao armazenamento de água (Figura 38).

5.2 - Levantamento do uso e ocupação territorial

Através de estudo de fotografias aéreas foi elaborado o mapa de uso e ocupação da área (Figura 39), onde IEZZI (1999) reconheceu dez classes distintas, conforme discriminadas a seguir:

- área industrial: ocorrem indústrias e galpões industriais;
- área industrial/comercial: ocorrem indústrias e estabelecimentos comerciais, incluindo uma empresa de ônibus, muito próximas umas das outras;
- área mista: compreende indústrias, estabelecimentos comerciais e residências muito próximas umas das outras;

Figura 38 – Mapa de lineamentos com indicação das prováveis fraturas abertas (foto 331, faixa 8C).

Figura 39 - Mapa de uso e ocupação da área de estudo (Iezzi, 1999).

- área residencial: abrange os conjuntos habitacionais da CDHU e COHAB, localizados na porção leste da área, residências em chácaras e residências próximas às áreas industriais e/ou comerciais;
- área de reflorestamento: inclui pequenas plantações como hortas, cultivo de cítricos, plantio de pinheiros e eucaliptos;
- área de mata: compreende áreas de mata nativa e secundária, cuja vegetação é densa a medianamente densa quando comparada com áreas contíguas.
- campo antrópico: refere-se a áreas com pouca ou nenhuma vegetação e terrenos desocupados;
- área de mineração: corresponde a áreas de exploração mineral ativas;
- área de mineração abandonada: corresponde a áreas de exploração mineral abandonadas ou temporariamente paralisadas;
- área de lazer ou recreação: corresponde a um clube recreativo.

Em virtude do mapa de uso e ocupação ter sido elaborado com fotografias aéreas do ano de 1996, fez-se necessário um levantamento de campo para atualizar e complementar as informações disponíveis. Nesta fase foram cadastradas quase todas as empresas e estabelecimentos instalados na área, resultando no cadastramento de 126 (cento e vinte e seis) pontos plotados em mapa (Figura 40), que abrangem os seguintes tipos: estabelecimentos industriais (indústrias metalúrgicas, de equipamentos industriais, alimentícias, de produtos químicos, etc), comerciais (fábricas de blocos de concreto, recauchutadoras de pneus, marmoraria, retífica de motores, postos de serviços, etc), educacionais (centros pró-excepcionais, orfanato e colégio), recreativos (clubes), rurais (sítios, chácaras e granjas), residenciais (casas e barracos em favela) e viações de ônibus.

Especificamente na área Fazenda do Carmo, verificou-se que alguns trechos (principalmente às margens da Estrada do Iguatemi) são ocupados por invasões, algumas delas muito antigas. Estas ocupações irregulares diferenciam-se pela existência de algum tipo de atividade comercial associada (depósito de ferro-velho, papelão, desmanche de veículos, fábrica de blocos, etc).

LEGENDA

- Drenagem
- Estrada
- APA Mata do Iguatemi
- Área Fazenda do Carmo
- Cavas de Pedreira (Pedreiras Lajeado)
- Pedreira e olaria em atividade
- Pedreira desativada
- +91 Número das empresas e/ou estabelecimentos (ver referência Anexo 2)

BASE TOPOGRÁFICA

EMPLASA (1993) – Folhas N°4313 a 4316

Escala 1:10.000

ESCALA GRÁFICA

MUNICÍPIO

SÃO PAULO

Dissertação de Mestrado
Valdeneide Regina da Silva
IG/USP (2000)

Figura 40 – Mapa de localização das empresas e/ou estabelecimentos visitados.

Nas visitas de campo também foram levantadas informações relacionadas ao abastecimento de água e ao saneamento básico. Neste sentido, verificou-se que a rede de água da SABESP atende apenas uma parcela da população, enquanto a maioria é obrigada a se utilizar da água subterrânea através de poços. O mesmo acontece com o saneamento básico que é feito parcialmente pela rede de esgoto pública e parcialmente por meio de fossas sépticas ou negras. Contudo, o que se verifica ainda em alguns locais é o lançamento de esgoto "in natura", que escorre pelas ruas, como observado próximo ao limite norte da Fazenda do Carmo.

O levantamento do uso e ocupação também visou o cadastramento de fontes potenciais de contaminação da água subterrânea, que se iniciou com a pesquisa de dados na literatura. Conforme citado no capítulo 4 (item 4.2), dentre os dados levantados destaca-se o levantamento ambiental realizado pela PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996), na área denominada "Passagem Funda" (situada no extremo leste da área Fazenda do Carmo), que relata atividades potencialmente poluidoras e a disposição inadequada de resíduos sólidos (Tabela 4). Dentre estas atividades, a que merece maior destaque é, sem dúvida, a atividade informal de lavagem e recuperação de tambores e bombonas, por causarem impactos no meio físico, biológico e antrópico. Segundo o relatório da prefeitura, os tambores e bombonas metálicos (200 litros), contendo resíduos (tintas, óleos, solventes e outros), são transportados do bairro de Santo Amaro para as recuperadoras existentes na área de estudo, onde são lavados e desamassados para posterior comercialização. Quando os tambores chegam nas recuperadoras, os resíduos neles contidos são descartados em poços (Tabela 4), córregos e nos solos. A lavagem é mecânica e usa solventes à base de xileno e tolueno, que já haviam sido utilizados em outros processos industriais. Em seguida, são desamassados através de injeção de ar sob pressão e comercializados para empresas no interior do estado, que lhes dão acabamento final: pintura externa, fechamento, vedação e colocação de bocal e tampa.

Numa das visitas realizadas na área verificou-se que aquelas recuperadoras situadas dentro do perímetro da área Fazenda do Carmo já não mais realizavam as atividades com os tambores e bombonas, contudo num dos pontos localizados em área de várzea junto ao córrego Guaratiba, cujas instalações são periodicamente inundadas (Figura 41), foi observada a reciclagem de latas de tinta menores (18 litros). Neste mesmo local, também observou-se a disposição de tambores, areia de fundição e substâncias químicas (transportadas em sacos plásticos e/ou junto com os tambores) (Figura 42). Apesar da paralisação das atividades naquelas recuperadoras, seus efeitos danosos sobre o meio

Tabela 4 - Atividades industriais na área "Passagem Funda" e suas irregularidades. Compilado a partir de PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996).

Razão Social	Endereço	Proprietário	Atividade	Irregularidades	Destinação dos Resíduos	Observação
Hidrolete Produtos Termoplásticos	R. São Simão, 18	Maurício Pinheiro Rodrigues	Fabricação de tubulação de PVC.			
Fábrica de Plásticos São Sebastião	R. Santa Teresa	Wagner Alves Gramarin	Reciclagem de polietileno, comércio de papelão, plásticos e arame.	Presença de sacaria industrial de produtos como: anidrido maleico e neopentyl glicol (matéria prima da Bosch). A água utilizada na lavagem dos plásticos provém de uma lagoa e o efluente é lançado para uma fossa, que estando entupida, extravasa para a rua.		Recebeu visita da CETESB através de denúncia por atear fogo no resíduo.
Ind. e Com. Recuperadora de Alumínio Arpol Ltda	R. do Campo	Claudio Moriconi	Fundição de alumínio em forno rotativo de capacidade nominal de 2.500 ton, com vazão de 1.000 a 1.500 Kg, gerando aproximadamente 500 Kg de resíduos que é processado para recuperação de 10% de alumínio.		Os resíduos gerados são provenientes do sistema de tratamento de gases, estes são coletados pela empresa Intranscol com destino ao aterro, não especificado no contrato e cujo destino o proprietário ignora.	Empresa instalada em 1973 e adquirida pelo atual proprietário em 1992.
Empresa Betânia - Com. de Produtos Químicos	Estrada do Igatemi, 5836		Envasamento em bombonas de produtos como: ácidos (sulfúrico, clorídrico e nítrico), bases (hidróxidos de sódio e hidróxido de amônio) e sais (hipoclorito de sódio).	Acidente ocorrido com vazamento de 3.000 litros de ácido sulfúrico. O socorro foi efetuado pelo corpo de bombeiros e CETESB, com adição de cal para neutralização na caixa de captação de águas pluviais de 3m de profundidade. Caixa aberta sem proteção.		
Recicladora de Tambores e Bombonas	R. do Campo	Sidney de Oliveira	Recuperação de tambores que são provenientes de indústrias químicas, contendo resíduos caracterizados como bombas de tintas, de sistema de exaustão de gases, rotulado como: 9/5/95 - exaustão K220 (classe I), butilglicol, bombas de destilação rotulado como: salicato de benzila (308085 de 3/10) e resíduos de postos de gasolina.	Colocação de fogo nos tambores e resíduos, emanando produtos da combustão, que são prejudiciais aos moradores das proximidades.	Descarga de resíduo classe I, NBR 10004, no solo e águas superficiais, provocando o assoreamento do córrego e enchentes na área à montante, afetando moradores.	Após a lavagem dos tambores com solventes à base de xilol e toluol, os quais já foram utilizados em outros processos químicos de extração, são desamassados através de injeção de ar sob pressão e comercializados para Luarte Recuperadora de Óleo em Lençóis Paulista e Cemibra em Matão. Preço de compra R\$ 3,00. Preço de venda de cada tambor R\$ 5,00 a R\$ 7,00. Quantidade mensal comercializada = 264 tambores de 200 litros.
Nova Roclan Fundição Ltda	R. Tinenciro Icibaci, 949	Roberto Carricondo	Fundição de não-ferrosos: alumínio, cobre e latão.			
Recauchutadora de Pneus Imperial	R. Tinenciro Icibaci, 1211	Raffaelli Caffetani	Raspagem a frio de pneus radiais, recauchutagem, pneus para autos, caminhões, máquinas agrícolas e industriais. Matéria prima utilizada: agentes vulcanizantes para borracha, enxofre em pó, borracha sintética, negro de fumo, óxido de zinco, estearina, cola de borracha, borracha de ligação, solvente para borracha. Produção mensal: 6250 pneus.	Foi constatado durante a vistoria que os pneus são depositados a céu aberto e que a queima desses tem sido praticada com frequência. O SUDS faz aplicação de inseticida.	Esporadicamente quando é realizada limpeza nas instalações, os resíduos são destinados para aterros pela empresa transportadora contratada.	Os pneus são doados para fazer percintas e a borracha em pó é comercializada para indústrias de borracha.
Amifana Industrial Import. e Export. de Alimentos Ltda	R. Tinenciro Icibaci, 2337		Fabricação de molhos e conservas alimentícias.		Disposição de aproximadamente 3m3 de resíduos caracterizados como alimentício: folhas de couve-flor, pasta de alho, urucum e pimenta, no talude próximo à nascente do córrego.	
Metalúrgica MF Ind. e Com. Ltda.	Av. Souza Ramos, 437	Antônio Mian	Metalúrgica - prumos de latão, flexíveis de cobre, tubos de ligação, artefatos de metais sanitário.	Empresa funcionando desde 1980 e há 2 anos executa tratamento de superfície que não consta no processo citado. Possui no local tratamento de efluentes, mas não foi verificada a eficiência do processo.		
Auto Capas Abrigo Jacaré Ind. e Com. Ltda.	R. dos Cunha, 60-A	Luiz Clarindo da Silva	Confeção de capas em geral de poliéster e polipropileno para automóveis.			Há 5 anos era efetuado processo de resinação com emissão de gases para a atmosfera. Com ações da CETESB, houve paralisação dessa atividade.
Ind. e Com. Reboque Safari - Indústria Metalúrgica	R. dos Cunha, 087			Falta de sistema de exaustão para pintura à revólver.		
Carbrink Com. e Ind. de Carimbos e Brinquedos	Av. Souza Ramos, 25	Walter Carlos Miranda				Não foi feita vistoria na unidade de processo.
Ranchonete do Gaúcho	Estrada do Igatemi, 1020	Amaldo de Souza	Recuperação de tambores e bombonas industriais contendo resíduos de óleos minerais, ésteres, misturas de retenção, hidrocarbonetos, polímeros, tintas, etc.	Manipulação de produtos químicos sem EPI. Prática da queima de produtos químicos a céu aberto.	Descarte de resíduos classe I no solo e córrego.	O descarte de resíduos além de afetar a saúde das pessoas tem comprometido a vegetação pertencente à APA do Igatemi.
Recuperação de Solventes e Óleos	R. dos Cunha	Soneu	Comercialização de óleos e solventes de uso industrial.		Descarte de resíduos classe I dentro do poço raso.	O descarte de resíduos tem comprometido o poço de propriedade da empresa Auto Capas Abrigo Jacaré que sente odor de querosene quando é efetuado o bombeamento de água.
Recauchutadora de Pneus Dinâmica	Estrada do Igatemi, 600	Manoel Flaurentino Alves	Recauchutagem de pneus para ônibus e caminhões.	Lançamento de água da caldeira quente no córrego no dia da visita, devido a trincas na caixa de amianto de 250 litros e falta de tampa na caixa.	O resíduo de borracha é fornecido para empresas que recolhem e que reutilizam na fabricação de tapetes (Vila Matilde) e em forno de cimento (Juiz de Fora, MG).	Quantidade de resíduos gerada: 10 sacos de 25 a 30 Kg/mês. Antes o resíduo era fornecido para o Município de Formiga para utilização em forno de cal. Segundo o proprietário, devido à disposição de grandes quantidades de areia de fundição na área onde está instalada a Ranchonete do Gaúcho, o poço possui água com "ferrugem" inviabilizando o seu uso.

Figura 41 - Local de lavagem e recuperação de tambores localizado em área de várzea, mostrando pontos de alagamento.

Figura 42 - Armazenamento irregular de sacos plásticos, contendo areia de fundição e produtos químicos, em depósito de tambores e bombonas.

biológico são nitidamente observados como, por exemplo, sobre a vegetação das bordas da APA Mata do Iguatemi que encontra-se totalmente ressecada (Figura 43).

Figura 43 – Borda da APA Mata do Iguatemi mostrando o ressecamento da vegetação devido a atividades antrópicas desenvolvidas em terreno adjacente onde se realizava a atividade de lavagem e recuperação de tambores (ponto 89 – *Ranchonete do Gaúcho*).

Quanto aos pontos de disposição inadequada de resíduos sólidos, são 4 (quatro) os registrados pela prefeitura (Figura 44):

- Ponto A: entulho e/ou solo da obra de construção de galeria de águas pluviais;
- Ponto B: resíduo de limpeza de bueiros;
- Ponto C: depósito de sucatas plásticas (algumas embalagens acondicionava produtos químicos como sorbitol e peróxido orgânico);
- Ponto D: resíduos industriais e domiciliares.

Entretanto, durante os trabalhos de campo realizados na atual pesquisa, notou-se que a disposição de resíduos sólidos já não mais se realiza nos mesmos locais descritos no

LEGENDA

- Drenagem
- Estrada
- APA Mata do Iguatemi
- Área Fazenda do Carmo
- Resíduos Sólidos (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1996)
- Lavagem de Tambores (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1996)
- Resíduos Sólidos (dados de campo)
- Pontos com Fotografia
- Lavagem de Tambores (dados de campo)
- Postos de Serviços
- Cemitério

BASE TOPOGRÁFICA

EMPLASA (1993) – Folhas N°4313 a 4316

Escala 1:10.000

ESCALA GRÁFICA

MUNICÍPIO

SÃO PAULO

Dissertação de Mestrado
Valdeneide Regina da Silva
IG/USP (2000)

Figura 44 – Mapa de localização de fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

relatório da prefeitura, com exceção do ponto C, que até se ampliou numa faixa ao longo da margem do Córrego Guaratiba (Figura 44). Além disso foram identificados novos pontos de descarga de resíduos sólidos, sobretudo ao longo das margens das estradas de terra localizadas em pontos altos da topografia (porção central da área), onde existe pouca movimentação de pessoas e veículos na área (Figura 44). Segundo informação de moradores locais, alguns caminhões que depositam estes resíduos são de propriedade da prefeitura do Município de São Paulo.

Os resíduos observados nestes pontos são de naturezas diversas, tais como:

- entulho (madeira, terra, concreto, tijolo, gesso, pedras e serragem);
- pneus e câmaras de tratores e caminhões parcialmente queimados (Figuras 45 e 46);
- material plástico (sacos, fitas e potes) parcialmente queimado (Figura 46);
- vidros e garrafas de vidro;
- lâ de vidro parcialmente queimada (Figura 47);
- tonéis e latões amassados;
- isopor;
- forração (carpete);
- sofá velho;
- meias novas vindas da fábrica (Figura 48);
- calçados velhos;
- troncos de árvores;
- ovos de galinha;
- animais em decomposição;
- carro "depenado" e queimado.

Um aspecto a ser destacado é que há uma grande reciclagem desses depósitos, ou seja, com a mesma velocidade que os resíduos são descartados nestes pontos são transportados para outros locais, o que em parte dificulta a caracterização das fontes potenciais de contaminação da água subterrânea na área.

Além das atividades relatadas na área como fontes potenciais de contaminação da água subterrânea (lavagem de tambores contendo resíduos de tintas e solventes e

Figura 45 - Câmaras de tratores e de caminhões dispostos irregularmente na margem da estrada U. (Figura 44 - ponto 2)

Figura 46 - Ponto de descarte de resíduos sólidos onde se observam pneus, materiais plásticos (potes e fitas) e entulho (madeira e terra). (Figura 44 - ponto 3)

Figura 47 - Lã de vidro parcialmente queimada disposta irregularmente num ponto de descarte de resíduos próximo à estrada U. (Figura 44 - ponto 4)

Figura 48 - Ponto de descarte de resíduos na margem da estrada U, com disposição irregular de meias, embalagens plásticas e troncos de árvore. No fundo, reflorestamento de eucaliptos. (Figura 44 - ponto 5)

disposição irregular de resíduos sólidos), deve-se ressaltar também os postos de serviços e um cemitério (Figura 44), embora não se tenha conhecimento de problemas de vazamento de tanques nestes postos.

5.3 - Levantamento hidrogeológico

5.3.1 - Cadastramento de poços e pontos d'água

Conforme já mencionado no capítulo 4 (item 4.3.1), no total foram cadastrados 131 (cento e trinta e um) poços na área de estudo, sendo 98 (noventa e oito) poços cacimbas e 33 (trinta e três) poços tubulares, além de 6 (seis) fontes distribuídos por toda a área (Figura 49). Nove dos poços tubulares encontram-se desativados, devido ou à baixa produtividade ou a problemas com as respectivas bombas, enquanto somam 11 (onze) os poços cacimbas desativados, principalmente devido a chegada da rede de água da SABESP.

Os poços tubulares pertencem a estabelecimentos industriais (41%), comerciais (34,5%), rurais (sítios, chácaras e granjas) - 9,5%, educacionais (6%), recreativos (3%), entre outros (6%) instalados na área (Figura 50). O uso das águas é bem variado, abrangendo atividades industriais (processos industriais e limpeza), consumo doméstico (uso geral e potável), irrigação de flores, criação de peixes e dosagem de concreto. A retirada da água dos poços é feita através de bombas elétricas localizadas a diferentes profundidades dentro dos poços (Anexo 3 - Tabela 1). A maior parte dos poços foi construída na década de 90, no entanto, alguns já existem há mais de vinte anos (Anexo 3 - Tabela 1).

Os poços cacimbas (escavados) estão distribuídos entre muitas indústrias (39%), estabelecimentos comerciais (32%), rurais (sítios, chácaras e granjas) - 16%, educacionais (7%), recreativos (2%), entre outros (4%) instalados na área (Figura 51). A água é utilizada tanto para consumo doméstico como industrial, abrangendo as seguintes atividades: atividades industriais (processos industriais e limpeza), fabricação de blocos de concreto, consumo doméstico (uso geral e potável), cultivo de hortaliças, criação de animais (aves e peixes) e irrigação. Assim, como nos poços tubulares, a retirada de água da maioria das cacimbas é feita através de bombas elétricas instaladas no interior dos poços. Os poços mais antigos datam das décadas de 30 e 40, sendo a maioria construídos a partir da década de 70 (Anexo 3 - Tabela 2).

LEGENDA

- Drenagem
- Estrada
- APA Mata do Igatemi
- Poço tubular em funcionamento
- Poço tubular desativado ou seco
- Poço tubular ainda não ativo
- Poço tubular soterrado
- Poço cacimba em funcionamento
- Poço cacimba desativado
- Fonte
- Número das empresas e/ou estabelecimentos (ver referência anexo 2)
- Perfil hidrogeológico 1
- Perfil hidrogeológico 2

BASE TOPOGRÁFICA

EMPLASA (1993) – Folhas N°4313 a 4316

Escala 1:10.000

ESCALA GRÁFICA

MUNICÍPIO

SÃO PAULO

Dissertação de Mestrado
Valdeneide Regina da Silva
IG/USP (2000)

Figura 49 – Mapa de localização dos poços e pontos d' água cadastrados.

Figura 50 – Distribuição dos poços tubulares de acordo com os tipos de estabelecimentos instalados na área.

Figuras 51 – Distribuição dos poços cacimbas de acordo com os tipos de estabelecimentos instalados na área.

As 6 (seis) fontes de água cadastradas foram encontradas em terrenos de indústrias (duas), chácaras (três) e granja (uma), sendo amplamente utilizadas inclusive para consumo humano.

5.3.1.1 - Características dos poços

5.3.1.1.1 - Profundidade

A profundidade média dos poços tubulares é de 183,0 m, variando entre 80 e 350m. Contudo a maior freqüência (30%) das profundidades encontram-se entre 134 e 188 m, classe que inclui a média (Figura 52). Quanto aos poços cacimbas, a profundidade média é de 9,30 m, variando entre 2,47 e 32,20 m, no entanto a classe que contém a média representa apenas 18% das profundidades, conforme se observa na Figura 53.

Figura 52 – Frequência de distribuição das profundidades dos poços tubulares. (número de poços = 30)

5.3.1.1.2 - Aspectos construtivos e de conservação dos poços

A análise dos perfis construtivos dos poços tubulares revelou que os poços possuem revestimento interno de tubo de aço preto (diâmetro entre 101,6 e 317,5 mm) e/ou de tubo

Figura 53 – Frequência de distribuição das profundidades dos poços cacimbas. (número de poços = 89)

de aço galvanizado (diâmetro de 152,4 mm) em quase todo o trecho de solo e rocha intemperizada, chegando a penetrar de 1 (um) a 4 (quatro) metros na rocha sã, em alguns poços. Além do revestimento apresentam também cimentação, geralmente acompanhando a profundidade do revestimento, podendo estar alguns centímetros, ora abaixo, ora acima (poços 64, 109 e 115) do contato manto de intemperismo/rocha sã. Dentre os poços analisados, apenas 1 (um) contém filtro (poço 109) no trecho de rocha intemperizada, localizado a 2 (dois) metros acima do topo da rocha sã, num intervalo de mais de 12 (doze) metros. Neste poço, tanto o revestimento interno como a cimentação atingem menores profundidades, não alcançando a rocha sã. Este poço apresenta também pré-filtro do tipo jacarei. No geral, o primeiro diâmetro perfurado dos poços varia de 203,2 mm (8") a 374,6 mm (14 3/4").

Quanto aos poços cacimbas, o diâmetro varia de 0,80 a 3,0 m. Foram observados em campo muitos poços bem construídos, revestidos internamente por anéis de concreto pré-moldados (manilhas) e externamente por muro de proteção de cimento ou concreto. Por outro lado, alguns poços ou são revestidos internamente de tijolos ou, então, não apresentam nenhum tipo de revestimento. Os poços, muitas vezes, estão situados dentro de cômodos fechados construídos especialmente para eles e, algumas vezes, dentro dos prédios (poços 11(1); 41(1); 52(1), 71 e 104) ou são protegidos por muretas construídas com

blocos de concreto ou tijolo (poços 63(1); 66; 67(2 e 3) e 86). Apesar desses cuidados, os poços 55(1) e 55(2) situados em cômodos fechados encontravam-se em ambiente sujo.

Todos os poços apresentam algum tipo de tampa, geralmente de cimento ou concreto, ou são cobertos apenas por pedaços de madeira e de telha (poços 41(2); 51; 70(1); 78; 85(1 e 2); 87(2); 88(1); 95; 100(1); 117(1) e 118), o que facilita o ingresso de sujeira e de poluentes para dentro dos poços (Figura 54). As tampas de cimento ou concreto são, às vezes, fechadas com cadeado (poços 61 e 91), enquanto outras são fixas possuindo apenas um furo para a passagem da mangueira da bomba (poços 86 e 124).

A manutenção dos poços cacimbas (Anexo 3 - Tabela 2) refere-se à limpeza esporádica dos mesmos (semestral ou anual), onde são limpos as paredes e os fundos dos poços, com adição de cal virgem. Entretanto, durante os trabalhos de campo alguns poços estavam sujos internamente, com presença de vegetação nas paredes (poço 25(1)) e de lama no fundo (poço 52 (3)).

Ressalta-se, porém, que nem todas as águas dos poços maus construídos e conservados são utilizadas para consumo humano, o que será abordado no item 5.3.2.5 deste capítulo.

Figura 54 – Aspecto de preservação do poço 95 – *Recicladora de Sucatas Rodoplast*, mostrando o uso de pedaços de telha para cobrir o poço na ausência de tampa.

5.3.1.2 - Produção dos poços

5.3.1.2.1 - Vazão e capacidade específica

A análise dos dados de vazão dos poços tubulares revelou valores que variam de 1,16 a 15,70 m³/h, cuja média geral é de 4,44 m³/h, sendo a média no granito-gnaiss de 3,58 m³/h e nos filitos e xistos de 4,65 m³/h. Dentre os 15 (quinze) dados analisados, as três melhores vazões são de poços (poços 38 e 40, 71, 119) que exploram água dos filitos e xistos. Esses valores foram obtidos através de testes de vazão dos poços efetuados pelas companhias perfuradoras e não correspondem à vazão de uso dos mesmos, cujo valor médio é de 2,56 m³/h por poço tubular (Anexo 3 - Tabela 1).

Os valores de capacidade específica destes poços mostraram grande variação, com valores situados entre 0,005 e 0,139 m³/h.m (Tabela 5), porém extremamente baixos, indicando que para se obter uma vazão constante são necessários muitos metros (até 206 m - poço 20) de rebaixamento do nível d'água.

Tabela 5 - Valores de vazão e capacidade específica dos poços tubulares.

Nº Empresa	Prof.Poço (m)	Vazão (m ³ /h)	NE (m)	NE (mês/ano)	ND (m)	Cap. Específica (m ³ /h.m)
9 (1)	255	4,70	4,00	5 a 7/74	147,00	0,032
9 (2)	200	4,90	2,00	6 a 7/75	120,00	0,041
20	350	1,16	12,00	8/96	218,00	0,005
30	80	2,00				
36	164	3,77	10,00		60,00	0,063
38	206	6,00				
40	170	6,00	24,00		86,00	0,069
45	140	2,00	6,00		82,00	0,024
64	162	2,50	61,30		139,50	0,018
71(1)	240	8,80	9,70	5 a 8/98	155,36	0,056
82	140	3,50				
90	120	1,50	40,00			
109	333	2,40	10,00	2/94	171,00	0,014
115(1)	244	1,67	8,50	6 a 7/97	129,98	0,013
119	204	15,70	10,12	8/97	112,23	0,139

Cap. = Capacidade; Nº = Número; ND = Nível Dinâmico; NE = Nível Estático; Prof. = Profundidade.

5.3.1.3 - Características dos aquíferos

5.3.1.3.1 - Profundidade das entradas de água

Com base nos perfis litológicos dos poços, elaborados pelas empresas perfuradoras, foram encontradas indicações de entradas de água em 3 (três) perfis através da presença de filtro no manto de intemperismo (poço 109) e de fraturas na rocha sã (poços 9 (1) e 115).

No primeiro caso (poço 109), a entrada de água situa-se entre as profundidades de 41 e 53 m, em mica-xisto, na zona de transição manto intemperizado/rocha sã e, no segundo caso, foram verificadas entradas nas seguintes profundidades: 75 a 85 m e de 178 a 192 m (poço 9 (1)) e a 145 m (poço 115 (1)), em poços perfurados em granito-gnaiss (Figuras 55 e 56).

5.3.1.3.2 - Nível estático

Os níveis estáticos dos poços tubulares foram obtidos principalmente através das fichas técnicas dos poços e, secundariamente, através de informação verbal. Os níveis foram medidos em épocas diferentes, logo após a perfuração dos poços na ocasião da realização dos testes de bombeamento, conforme indicados na Tabela 5. Como se observa nesta tabela, alguns níveis estáticos foram medidos durante o período mais seco do ano (abril a setembro), e outro (poço 109) no período chuvoso (outubro a março). Quanto às profundidades, variaram entre 2,0 e 61,3 m entre todos os níveis obtidos (Anexo 3 - Tabela 1).

Quanto aos poços cacimbas, a maioria dos dados foi obtida através da leitura no campo durante o período de agosto/setembro/99 (período seco). Conforme se observa no Anexo 3 - Tabela 2, os níveis variaram entre 0,13 e 29,80 m.

5.3.2 - Análises químicas

5.3.2.1 - Verificação da validade das análises

Uma das técnicas mais comuns utilizadas para se verificar o grau de precisão e confiabilidade das análises químicas consiste no envio de amostras duplicatas para o laboratório e posterior comparação dos resultados das análises. Esta técnica foi utilizada neste estudo, referente às amostras coletadas na 2ª fase de coleta e os resultados obtidos foram em geral satisfatórios, com exceção das amostras 85(1) e 91 que apresentaram diferenças nas concentrações de cálcio da ordem de 4 e 10 mg.L⁻¹, respectivamente, entre as suas duplicatas.

A exatidão dos resultados de análise de água pode ser avaliada pelo cálculo do balanço iônico, realizado a partir das concentrações totais (em miliequivalentes por litro) dos cátions principais (Σ cátions) e as concentrações totais dos ânions principais (Σ ânions), que

Figura 55 – Perfil hidrogeológico 1 (localização Figura 49).

Figura 56—Perfil hidrogeológico 2 (localização Figura 49).

devem ser aproximadamente iguais. O desvio percentual dessa igualdade é determinado pelo coeficiente de erro (e) da análise representado por:

$$e(\%) = \left(\frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right) \times 100$$

Na prática a diferença que existe entre as concentrações totais de cátions e as concentrações totais de ânions é devida aos erros acumulados de cada determinação individual e ao fato de não se ter levado em conta as concentrações iônicas menores. Se ocorre uma diferença muito grande é devido a existência de quantidades anormais de íons menores ou a um erro grave de análise (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

Em geral, o balanço iônico admite um erro de no máximo $\pm 10\%$ para que a análise seja aceita, embora seja admissível erros de até 30%, no caso de águas com baixas condutividades elétricas (ao redor de 50 $\mu\text{S/cm}$), conforme indicado em CUSTODIO & LLAMAS (1996).

O cálculo do balanço iônico foi efetuado de 3 (três) formas diferentes em função dos cátions e ânions escolhidos, conforme discriminados a seguir:

- a) somente os íons principais: cátions (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+) e ânions (HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-});
- b) todos os cátions e ânions anteriores, incluindo o ferro (Fe^{2+}) e o cloreto (Cl^-);
- c) todos os cátions e ânions analisados.

Além disso, devido as concentrações de bicarbonato das águas terem sido calculadas a partir da alcalinidade determinada parcialmente em laboratório (1ª fase) e parcialmente em campo (2ª fase), os erros analíticos serão apresentados de acordo com as fases de coleta na Tabela 6.

A tabela 6 mostra que na 2ª fase um número maior de amostras indicou erros acima de 10% comparado com a 1ª fase e que os resultados obtidos não mostraram grandes variações em função das diferentes formas de cálculo do balanço iônico, principalmente na 2ª fase, quando era esperado valores de erro bem menores de acordo com a 3ª forma, que considerou todos os cátions e ânions analisados e mais o bicarbonato. Estes fatos sugerem

Tabela 6 – Resultados de erros analíticos obtidos através das diferentes formas de cálculo do balanço iônico em relação às fases de coleta (dados em porcentagem de número de amostras).

Fases	Formas	Nº de amostras	$e \leq 10\%$	$10\% < e \leq 30\%$	$e > 30\%$
1ª Fase	1ª forma	24	54%	41%	4%
	2ª forma		42%	58%	0%
	3ª forma		46%	50%	4%
2ª Fase	1ª forma	10	30%	70%	0%
	2ª forma		30%	70%	0%
	3ª forma		30%	70%	0%

que um dos principais motivos de erros analíticos tão elevados, tanto na 1ª como na 2ª fase de coleta, é devido às imprecisões na determinação da alcalinidade (uso de conta-gotas), a partir da qual se obteve o íon bicarbonato, visto que pequenas variações nas concentrações deste íon podem levar a valores de erros no balanço iônico muito grandes, principalmente quando ele constitui um dos ânions mais abundantes. Somam-se a isso as baixas concentrações iônicas das amostras, com exceção de algumas concentrações elevadas de nitrato, ferro, alumínio, manganês, brometo e potássio que serão comentadas adiante.

5.3.2.2 - Parâmetros físicos

5.3.2.2.1 - Temperatura

A temperatura das águas subterrâneas é muito pouco variável e corresponde à média anual das temperaturas atmosféricas locais (CUSTODIO & LLAMAS, 1996). Na área de estudo as temperaturas das águas variaram entre 21,2 e 26,0 °C, tendo uma boa aproximação com a temperatura atmosférica média anual da RMSP, que é de 25,0 °C.

5.3.2.2.2 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica representa a capacidade da água em transmitir corrente elétrica, sendo influenciada pela temperatura, tipo e concentração de íons dissolvidos (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

As condutividades elétricas das águas analisadas foram determinadas de duas maneiras: 50% em campo com o uso do condutivímetro e 50% em laboratório, utilizando-se as seguintes fórmulas expressas em CUSTODIO & LLAMAS (1996).

Fórmula	Valor de M
$C = 100 M$	< 1,0
$C = 12,27 + 86,38 M + 0,835 M^2$	1,0 a 3,0
$C = M (95,5 - 5,54 \log M)$	3,0 a 10,0

onde:

M = conteúdo total em ânions ou cátions (tomar a semisoma) (em meq.L⁻¹).

C = condutividade elétrica em $\mu\text{S/cm}$ a 25°C.

De um modo geral as condutividades elétricas obtidas variaram entre 22 e 321 $\mu\text{S/cm}$ (Tabela 7), sendo ambos os valores encontrados nas águas dos poços cacimbas escavados em granito-gnaiss. Dentre as águas dos poços tubulares (40, 45 e 109), perfurados em filitos e xistos, os valores de condutividade elétrica se situaram entre 90 e 120 $\mu\text{S/cm}$, enquanto a condutividade elétrica da fonte (63(4)) localizada em área granítica foi de 136 $\mu\text{S/cm}$.

Como as águas subterrâneas mais profundas em geral são mais mineralizadas que as águas rasas devido às maiores oportunidades de dissolver sais, seriam esperados valores de condutividade elétrica maiores nas águas dos poços tubulares e não nas dos poços cacimbas, como foi observado, principalmente quando se compara águas providas de aquíferos de mesma formação litológica. Porém, como em aquíferos porosos (permeabilidade de poros) o contato rocha/água é mais intenso favorecendo o aporte de sais mais rapidamente para as águas, em comparação com os aquíferos fraturados

Tabela 7 - Condutividades elétricas das águas da área de estudo.

Poço	Cond. elétrica a 25°C (µS/cm)	Litologia
25	321	granito-gnaiss
31(1)	110*	filitos e xistos
31(2)	60*	filitos e xistos
40 ^t	120*	filitos e xistos
41	33	filitos e xistos
45 ^t	105	filitos e xistos
63(1)	22	granito-gnaiss
63(2)	56	granito-gnaiss
63(3)	27	filitos e xistos
63(4)	136	granito-gnaiss
67(1)	50*	filitos e xistos
67(2)	80*	filitos e xistos
67(3)	100*	filitos e xistos
71(1)	130*	filitos e xistos
85(1)	270*	filitos e xistos
85(2)	100*	filitos e xistos
87	230*	filitos e xistos
88(1)	60	filitos e xistos
88(2)	107	filitos e xistos
91	50*	filitos e xistos
95	90*	filitos e xistos
100(1)	40*	filitos e xistos
109 ^t	90	filitos e xistos
117(1)	80	filitos e xistos
117(2)	69	filitos e xistos
118	43	filitos e xistos

Cond.=condutividade

* condutividade determinada em campo

^t = poço tubular

(permeabilidade de fraturas) (CUSTODIO & LLAMAS, 1996), este pode ser o motivo pelo qual os valores de condutividade elétrica foram mais elevados nas águas dos poços cacimbas, uma vez que estão situados no manto de intemperismo, que além da permeabilidade de fraturas apresenta também permeabilidade de poros.

5.3.2.3 - Parâmetros químicos

Conforme exposto no capítulo 4 (item 4.3.2) foram analisadas 38 (trinta e oito) amostras de água subterrânea em duas fases. Os resultados obtidos (Anexo 4 – Tabelas 1 e 2) mostram que, no geral, as águas apresentam baixas concentrações de íons quando comparadas com os valores mais frequentemente encontrados nas águas doces subterrâneas (Tabela 8), com exceção do nitrato, ferro, alumínio, manganês, brometo e potássio.

Tabela 8 - Comparação entre as concentrações normais de íons nas águas doces subterrâneas, segundo CUSTODIO & LLAMAS (1996), e as concentrações encontradas nas águas da área de estudo.

CUSTODIO & LLAMAS (1996)		Dados da atual pesquisa
Íons Fundamentais	Concentração normal em água doce (mg.L ⁻¹)	Concentração (mg.L ⁻¹)
HCO ₃ ⁻	50 a 350	3,26 a 146,98
Cl ⁻	10 a 250	1,44 a 20,76
SO ₄ ²⁻	2 a 150	0,16 a 14,75
Ca ²⁺	10 a 250	0,10 a 70,50
Na ⁺	1 a 150	0,50 a 18,00
Mg ²⁺	1 a 100	0,10 a 7,35
Íons Menores	Concentração normal em água doce (mg.L ⁻¹)	Concentração (mg.L ⁻¹)
Fe ²⁺	0 a 10	0,01 a 16,48
NO ₃ ⁻	0,1 a 10	0,04 a 141,64
K ⁺	0,1 a 10	0,10 a 13,60
F ⁻	0,1 a 1	0,001 a 0,360
PO ₄ ³⁻	0,01 a 1	0,008 a 0,100
Sr ²⁺	0,01 a 1	0,01 a 0,34
Al ³⁺	0,005 a 0,3	0,03 a 1,21
Mn ²⁺	< 0,2	0,01 a 1,49
Br ⁻	< 0,01	0,005 a 1,050

5.3.2.3.1 - pH e Eh

A determinação destes parâmetros em campo requer que seja efetuada com rapidez, pois tanto um como o outro podem sofrer variações muito grandes quando a amostra é colocada em contato com a atmosfera.

No caso do pH, este contato pode provocar o desprendimento de certos gases dissolvidos na água (especialmente o gás carbônico) e com isso o aumento do pH em relação ao original afetando a solubilidade de vários elementos, tais como o cálcio, magnésio e metais pesados (FOSTER & GOMES, 1989). Os valores de pH das águas obtidos neste estudo (Anexo 4 - Tabelas 1 e 2) e provenientes dos poços cacimbas variaram de 4,50 a 6,86 evidenciando o caráter predominantemente ácido dessas águas.

No caso do Eh, as variações ocorrem em função do ingresso de oxigênio no sistema afetando a solubilidade de inúmeros elementos como o ferro, manganês, cromo e outros metais (FOSTER & GOMES, 1989). Estes elementos quando oxidados precipitam-se na forma de hidróxidos, o que pode causar sérios problemas nos resultados obtidos, pois estas espécies devido a sua capacidade de adsorção podem promover uma redução na concentração de vários íons que se deseja analisar, principalmente as espécies reduzidas como Fe^{2+} , Cr^{3+} e Mn^{2+} . Os valores de Eh obtidos neste estudo (Anexo 4 - Tabela 1) provenientes de poços cacimbas se situaram entre +0,49 e +0,63.

Com base nos resultados de pH e Eh obtidos e através dos diagramas de oxi-redução, verificou-se que o ferro total das amostras está presente principalmente na forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e subordinadamente como Fe^{2+} e que o cromo total apresenta-se predominantemente como Cr^{3+} .

5.3.2.3.2 - Alcalinidade

A alcalinidade da água é a sua capacidade de neutralizar ácidos até um valor designado de pH. Tem-se alcalinidade total ou completa (Titulação Alcalinimétrica Completa - TAC) e parcial (Titulação Alcalinimétrica - TA) que medem o conteúdo de ânions hidrolizáveis, principalmente dos ânions HCO_3^- , CO_3^{2-} e OH^- .

A determinação das alcalinidades (total e parcial) é efetuada através de titulação de neutralização ácido/base, empregando ácido sulfúrico e indicadores colorimétricos com diferentes pHs de viragem, como verde de bromo-cresol (pH=4,5), fenolftaleína (pH entre 8 e 10), indicador misto (pH=5,1), etc. Quando se deseja um grau de precisão maior é

recomendável que as determinações sejam feitas em campo, pois as realizadas em laboratório dão uma margem de erro de quase 5% em relação às primeiras (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

Para águas com $\text{pH} < 8,3$ a $\text{TA} = 0$ e, neste caso, a $\text{TAC} = \text{HCO}_3^-$ (em meq.L^{-1}) (CUSTODIO & LLAMAS, 1996), o que indica que as alcalinidades de CO_3^{2-} e OH^- são insignificantes ou nulas. Neste estudo foi determinada apenas a TAC, devido aos valores baixos de pH (4,50 a 6,86), encontrando-se nas águas dos poços cacimbas valores situados predominantemente entre 2,67 e 48,18 (mg.L^{-1} de CaCO_3) e excepcionalmente mais elevados na amostra 85(1), que apresentou na 1ª e 2ª fase de coleta valores de 80,32 e 120,48 mg.L^{-1} de CaCO_3 , respectivamente (Anexo 4 - Tabelas 1 e 2), enquanto nos poços tubulares os teores estão entre 45,72 a 55,52 mg.L^{-1} .

A alcalinidade das águas foi determinada neste estudo com o objetivo de se obter as concentrações do íon bicarbonato, através da relação $\text{HCO}_3^- (\text{mg.L}^{-1}) = 1,22 \times \text{TAC} (\text{mg.L}^{-1} \text{ de } \text{CaCO}_3)$ expressa em CUSTODIO E LLAMAS (1996).

5.3.2.4 - Classificação das águas

Dentre as amostras analisadas, 25 (vinte e cinco) tiveram suas alcalinidades determinadas, permitindo o cálculo da concentração de HCO_3^- e assim a classificação segundo o diagrama de Piper (Figura 57), juntamente com os ânions Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} e os cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} obtidos analiticamente.

Numa primeira análise da Figura 57, nota-se que as águas apresentam uma ampla variação composicional evidenciada pela dispersão das amostras no diagrama. Contudo, verifica-se que há um predomínio das sulfatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcicas, representadas principalmente pelas amostras provenientes de poços cacimbas. Por outro lado, as amostras provenientes de poços tubulares foram classificadas predominantemente como bicarbonatadas sódicas, mostrando um enriquecimento maior dos cátions Na^+ e K^+ que de Ca^{2+} , e do ânion HCO_3^- em relação ao Cl^- e NO_3^- .

As amostras cloretadas sódicas e sulfatadas cálcicas situadas no campo de predominância dos ânions Cl^- e NO_3^- , ou seja, as amostras 25, 31(1), 63(1), 63(2), 63(4), 67(3), 85(2), 95 e 118, sugerem que haja contaminação das águas por nitrato.

Figura 57 - Classificação química das águas subterrâneas da área de estudo.

5.3.2.5 - Qualidade das águas

A qualidade da água é um conceito relativo que assegura um determinado uso ou conjunto de usos. Um dos principais objetivos em se avaliar as características de uma água é constatar a observância ou violação dos padrões especificados para sua qualidade. Os padrões de potabilidade utilizados neste estudo foram os estabelecidos pela Portaria 36 (Ministério da Saúde - 19/01/90) e Organização Mundial da Saúde - OMS e o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA (18/06/86) para abastecimento doméstico, irrigação, recreação e preservação de animais e plantas (Tabela 9).

Os resultados das análises químicas das águas (Anexo 4 - Tabela 1 e 2) quando confrontados com os padrões de potabilidade revelam que várias amostras apresentaram teores de nitrato, ferro total, manganês e alumínio acima dos valores máximos permitidos para consumo humano e teores elevados de nitrato, manganês, alumínio, fosfato e zinco, quando confrontados com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA. Os valores de pH das amostras, em sua grande maioria, também ficaram fora dos padrões estabelecidos por essas normas, situando-se aquém dos valores recomendados. Na prática, isto implica que as águas podem sofrer alteração de sabor e que podem ocorrer problemas de corrosão nas tubulações do sistema de distribuição de água.

Dentre as amostras analisadas, os usos das águas que se destacam são: abastecimento doméstico e/ou consumo humano, atividades industriais (resfriamento de máquinas), irrigação e criação de animais (codornas). A seguir serão comentados os teores excessivos dos compostos e elementos químicos em função destes usos.

- **Nitrato**

Os compostos nitrogenados são muito solúveis e portanto dificilmente se precipitam. A maioria deles passa para nitrato em meio oxidante e este pode passar para N_2 ou NH_4^+ em meios redutores, embora o nitrato tenha a tendência de ser estável. Normalmente as concentrações nas águas subterrâneas estão entre 0,1 e 10 ppm, porém em águas poluídas pode chegar a 200 ppm e, em alguns casos, até 1000 ppm. Concentrações elevadas em água destinada a consumo humano podem produzir cianose (conhecida como doença do "bebe azul") em crianças e doenças carcinogênicas, além de conferir corrosividade à água e produzir interferências em processos de fermentação (CUSTODIO & LLAMAS, 1996). Normalmente a contaminação das águas subterrâneas por nitrato está relacionada a fossas e a problemas de construção e/ou conservação dos poços.

T2888

Tabela 9 - Legislação e regulamentação dos valores máximos permitidos para consumo humano e outros fins.

Padrões de Potabilidade	Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86		Portaria 36 Ministério da Saúde 19/01/90	Organização Mundial da Saúde OMS Recomendado
	Classe 2	Classe 3		
Parâmetros Físico-Químicos				
pH	6-9	6-9	6,5-8,5	6,5-8,5
Parâmetros Químicos (em mg.L⁻¹)				
Sulfatos	250	250	400	400
Fosfatos	0,025	0,025		
Cloretos	250	250	250	250
Fluoreto	1,4	1,4	0,6-1,7	1,5
Nitrato	10	10	10	10
Nitrito	1,0	1,0		
Sódio				200
Manganês	0,1	0,5	0,1	0,1
Alumínio	0,1	0,1	0,2	0,2
Prata	0,01	0,05	0,05	
Bário	1,0	1,0	1,0	
Cádmio	0,001	0,001	0,005	0,005
Cobre	0,02	0,5	1,0	1,0
Chumbo	0,03	0,05	0,05	0,05
Níquel	0,025	0,025		
Zinco	0,18	5,0	5,0	5,0
Fe _{total}			0,3	0,3
Cr _{total}			0,05	0,05

Classe 1: destinadas ao abastecimento doméstico (sem tratamento prévio)

Classe 2: destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional. Irrigação e Recreação.

Classe 3: destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional. Preservação de peixes e outros elementos da fauna e flora.

- **abastecimento doméstico e/ou consumo humano**

Somam 8 (oito) as amostras que apresentaram teores impróprios de nitrato para este fim: 22, 63(1), 63(2), 67(1), 67(2), 67(3), 85(2), 95. A maioria delas pertence a 3 (três) chácaras (*Chácara do Paulo* - amostra 22, *Chácara Morita* - amostras 63(1) e 63(2) e *Chácara Sol* - amostras 67(1), 67(2) e 67(3)), e as outras duas são provenientes da *Fábrica de Blocos do Edson* - amostra 85(2) e da recicladora de sucatas *Rodoplast* - amostra (95). Os teores de nitrato nestas amostras variaram entre 10,64 a 75,78 mg.L⁻¹.

No caso das chácaras, suspeita-se que o nitrato das águas seja proveniente de fossas sépticas e/ou de produtos químicos agrícolas (fertilizantes nitrogenados), pois estas constituem as fontes mais comuns de contaminação das águas subterrâneas neste tipo de propriedade. Embora não se disponha de informações sobre a existência e localização de fossas nestas chácaras, acredita-se que elas existam, uma vez que normalmente os estabelecimentos não servidos pela rede de água da SABESP também não o são pela rede de esgoto, e que devam se situar em locais em que o fluxo subterrâneo siga na direção dos poços contaminados. Quanto aos fertilizantes agrícolas, também é desconhecido o seu uso, contudo o proprietário da *Chácara Sol* revelou o uso de pesticida, embora muito raramente. Deve-se ressaltar que a água do poço 63(1) só apresentou teor impróprio de nitrato na amostra coletada na 2ª fase, o que pode ser devido a menor infiltração de água no período da coleta, comparado com a 1ª fase, permitindo uma maior influência de uma suposta pluma de contaminação nas águas do poço (HIRATA, 2000).

No caso dos poços 85(2) e 95, a principal fonte de contaminação por nitrato parece estar relacionada com os aspectos de preservação dos poços. Evidências a favor são a falta de muro de proteção no poço 85(2) e as tampas inadequadas feitas de pedaços de madeira, neste poço, e de pedaços de telha no poço 95 (Figura 54). Também não se descarta a possibilidade de contaminação através de fossas, se elas existirem, e se estiverem à montante do poço com relação ao fluxo subterrâneo.

A utilização das águas nestes estabelecimentos deve ser vista com cautela, pois além do nitrato causa problemas de corrosividade nas tubulações por onde circulam as águas, representa uma séria ameaça à saúde humana.

- irrigação

Dentre as amostras analisadas, 4 (quatro) apresentaram teores elevados de nitrato para águas destinadas à irrigação, cujos valores variaram de 18,54 a 37,05 mg.L⁻¹, quando o valor máximo permitido é de 10 mg.L⁻¹. Três amostras são provenientes dos poços cacimbas da *Chácara Sol* - amostras 67(1), 67(2) e 67(3) e uma de fonte da *Chácara Morita* - amostra 63(4).

O maior teor de nitrato foi o da última amostra, cuja água é destinada à hidroponia. As fontes contaminantes, neste caso, devem ser do mesmo tipo daquelas que contaminaram as duas amostras dos poços dessa chácara e das três amostras da *Chácara Sol*, apontadas no item anterior.

- criação de animais (codornas)

A amostra 71(1) da *Granja de Codorna Nakamura* foi a única amostra de água analisada procedente de um poço cacimba cuja água é utilizada para a atividade de criação de codornas, dentre outros usos. O teor de nitrato nesta amostra foi de 23,67 mg.L⁻¹, na 1ª fase de coleta, e da ordem de 38 mg.L⁻¹ na 2ª fase, valores bem acima do máximo permitido para este uso (10 mg.L⁻¹).

No caso desta amostra, suspeita-se que a fonte primária de nitrato nas águas do poço seja por decomposição da matéria orgânica proveniente dos excrementos das aves.

- outras finalidades

Além das amostras citadas anteriormente, as amostras 25(1), 31(1) e 85(1) também apresentaram teores excessivos de nitrato, porém em função do uso para o qual são destinadas, as concentrações de nitrato pouco interferem.

Dentre todas as amostras analisadas, a amostra 25(1) proveniente da fábrica de rodas esportivas *Girus Racing*, foi a que apresentou a maior concentração de nitrato, ou seja, 141,64 mg.L⁻¹. A água do poço é destinada a uso geral e às atividades industriais e não para consumo humano. O nível estático medido no dia da coleta estava a 1,66 metros da superfície e, segundo informações de um funcionário da fábrica, quando chove é muito comum o alagamento dos pátios da empresa com a elevação do nível d'água aflorando no

gramado e nos vãos do calçamento. Segundo informação do mesmo funcionário, o esgoto passa pelos fundos da fábrica e segue em direção ao rio Jacu no qual é lançado, aparentemente não tendo nenhuma influência sobre o poço que localiza-se bem na frente da fábrica, porém como a fábrica está assentada em terreno plano, em área de terraço, e supondo-se que o fluxo subterrâneo local seja no sentido do rio para o poço (Figura 59), é possível que haja influência das águas do rio na qualidade das águas deste poço. Além disso o proprietário da Chácara Nakasone (ponto 58 - Figura 40) informou que o Clube dos Securitários (ponto 16 - Figura 40) e a empresa Álcool Ferreira (ponto 56 - Figura 40) lançam resíduos num dos tributários do rio Jacu que, segundo ele, encontra-se poluído.

Outro aspecto relevante é a má conservação do poço em termos de limpeza, pois nos dias em que foi visitado, havia vegetação brotando nas paredes internas do poço, o que também pode estar contribuindo para a existência de matéria orgânica na água, que na ocasião da coleta, tinha uma espécie de nata em sua superfície.

As amostras dos poços 31(1) e 85(1) apresentaram concentrações de nitrato de 28,39 e 12,61 mg.L⁻¹, respectivamente. A primeira é procedente da *Metalúrgica Gimenez* que fabrica artefatos para calçados e utiliza a água do poço para as atividades industriais, e a segunda, provém da *Fábrica de Blocos do Edson* que usa a água desse poço apenas para molhar os blocos que fabricam. Nesta última, o teor de nitrato só foi excessivo na amostra coletada na 1ª fase, o que pode estar relacionado com o regime de chuva um pouco menor neste período, comparado com o da época da segunda amostragem.

Em ambos os poços a fonte de nitrato é atribuída a substâncias orgânicas que eventualmente ingressam para o interior dos poços, pois devido serem tampados apenas com pedaços de madeira ficam quase sempre semi-abertos. No caso do poço 85(1), ao redor dele foram observadas muitas folhas caídas que podem facilmente ingressar no poço, já que ele não possui muro de proteção.

Os efeitos prejudiciais do nitrato nestes casos estão relacionados ao poder corrosivo dessas águas, principalmente se utilizadas em maquinários (poços 25(1) e 31(1)).

- **Ferro**

A concentração de ferro ferroso nas águas subterrâneas normalmente se situa entre 0 e 10 ppm, contudo acima de 0,5 ppm é em geral nociva e incômoda, pois o ferro causa manchas de ferrugem e prejudica a qualidade das águas industriais. Acima de 5 ppm pode

ser tóxico para as plantas (CUSTODIO & LLAMAS, 1996). Quando as concentrações excedem alguns miligramas por litro pode-se detectar na água sabores metálicos, medicinais e adstringente (DAEE, 1975).

- **abastecimento doméstico/consumo humano**

São 3 (três) as amostras com teores de ferro acima do limite máximo permitido ($0,3 \text{ mg.L}^{-1}$), cujos valores variam entre $0,51$ e $1,16 \text{ mg.L}^{-1}$: amostra 31(2) da *Metalúrgica Gimenez*, amostra 88(2) da *Lajes e Blocos Tupã* e a amostra 95 da recicladora de sucatas *Rodoplast*.

Em geral o ferro ocorre em pequenas concentrações nas águas subterrâneas de rochas cristalinas, com exceção das provenientes de anfibolito dependendo da acidez da água (SZIKSZAY, 1993). No caso da amostra 95 que apresentou o maior teor ($1,16 \text{ mg.L}^{-1}$), acredita-se que a fonte principal de ferro seja a rocha metabásica (anfibolito) que ocorre nas proximidades do poço. Já no caso das amostras 31(2) e 88(2), como os teores de ferro são mais baixos, presume-se que tenha havido contribuição de partículas em suspensão, pois as amostras não foram filtradas antes da coleta.

- **atividades industriais (resfriamento de máquinas)**

Para este tipo de atividade somente a amostra 87(1), proveniente da *Recauchutadora de Pneus Dinâmica*, apresentou concentração excessiva de ferro ($16,48 \text{ mg.L}^{-1}$) quando comparada com a norma da EPA (1972 *apud* SZIKSZAY, 1993), que estabelece o limite de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

Segundo o relatório da PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996), o proprietário da recauchutadora comentou que a concentração excessiva de ferro na água do poço, já observada anteriormente, é devida à disposição no passado de grande quantidade de areia de fundição na área onde está instalada a *Ranchonete do Gaúcho* (ponto 89 - Figura 40). Esta explicação parece razoável, se for confirmado que o fluxo subterrâneo local é de montante para jusante do ponto 89 ao 87.

- **outras finalidades**

Dentre as amostras analisadas com teores excessivos de ferro que não se enquadram nos usos anteriores (40, 63(4), 85(1) e 88(1)), destaca-se a amostra 40 do poço tubular da *Metalúrgica Vulcão*, cuja concentração é de $2,07 \text{ mg.L}^{-1}$. A origem do ferro nesta amostra está relacionada a problemas de ferrugem na tubulação do poço, que segundo um funcionário da empresa, já teve que ser trocada diversas vezes por este motivo.

- **Manganês**

A concentração de manganês na água subterrânea é em geral inferior a 0,2 ppm e raramente ultrapassa 1,0 ppm, sendo mais abundante em águas ácidas. O manganês ao oxidar-se forma manchas negras e favorece o crescimento de certas bactérias (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

- **abastecimento doméstico/consumo humano**

Os teores de manganês encontrados mostraram-se pouco excessivos, variando de 0,13 a $0,38 \text{ mg.L}^{-1}$ nas amostras 22, 63(2), 67(2), 67(3) e 91(1), quando o valor máximo permitido é de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$. No caso do ponto 91(1) - *Metalúrgica BT*, verificou-se teor impróprio, de $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$, apenas na amostra coletada na 1ª fase.

- **irrigação**

As amostras 63(4), 67(2) e 67(3) provenientes da *Chácara Morita* e *Chácara Sol* indicaram concentração de manganês muito próximas do valor máximo permitido para irrigação ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$), porém excedentes, variando de 0,13 a $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$.

- **outras finalidades**

Dentre estas merecem destaque as amostras 25(1) da fábrica de rodas esportivas *Girus Racing* e 88(1) da *Lajes e Blocos Tupã* por conteúdos excessivos de manganês, de 1,49 e 0,92, respectivamente.

O manganês destas 8 (oito) amostras provavelmente é proveniente de partículas em suspensão, assim como o ferro, uma vez que as amostras não foram filtradas, principalmente as dos poços 25(1) e 88(1), pois possuíam aspecto sujo devido à má conservação dos poços.

- **Alumínio**

O alumínio apresenta certa resistência à remoção pelas soluções durante o intemperismo, ficando quase sempre retido no solo e formando os minerais de argila. Só existe em quantidades importantes como Al^{3+} em águas ácidas ou como $\text{Al}_2\text{O}_4^{2-}$ ou $\text{Al}_2\text{O}_4\text{H}^-$ em águas básicas. A concentração de alumínio nas águas subterrâneas em geral está entre 0,005 e 0,3 ppm, podendo chegar muito extraordinariamente a 100 ppm em águas muito ácidas. Não apresenta problemas específicos de nocividade e toxicidade (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

De acordo com os limites máximos permitidos para consumo humano e irrigação (0,2 e 0,1 mg.L^{-1} , respectivamente), muitas amostras apresentam elevadas concentrações desse metal, porém todas estão abaixo do limite de detecção do método (0,55 mg.L^{-1}), com exceção da amostra 22 da Chácara do Paulo, cujo teor é de 1,21 mg.L^{-1} , inviabilizando qualquer comparação dos resultados. O mesmo ocorre para as águas utilizadas para irrigação, representadas pelas amostras 67(1), 67(2) e 67(3) da Chácara Sol e pela amostra da fonte da Chácara Morita - 63(4) e, neste caso, a exceção é esta última cujo teor de alumínio é de 0,7 mg.L^{-1} .

Além destas, as amostras 25(1), 85(1), 87(1) e 88(2), também apresentaram concentrações de alumínio acima do limite máximo permitido e do limite de detecção, cujos valores variaram entre 0,69 a 0,98 mg.L^{-1} , porém são destinadas a outros usos.

Acredita-se que os teores elevados de alumínio de todas as amostras analisadas seja decorrente da não filtração, incluindo partículas em suspensão ou que, no caso das amostras 87(1) e 88(2), estejam relacionados com as atividades industriais realizadas na recuperadora de alumínio *Arpol*, localizada à montante destes pontos (ponto 122 - Figura 40 e Tabela 4), pois segundo informação do proprietário da *Lajes e Blocos Tupã* (ponto 88 - Figura 40), esta recuperadora de alumínio lança seus efluentes no córrego Guaratiba.

- **Fosfato**

A maioria dos fosfatos é pouco solúvel e se precipita como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. A presença de cálcio limita seu conteúdo na água e o CO_2 dissolvido o favorece. A concentração nas águas subterrâneas está entre 0,001 e 1 ppm, podendo atingir 10 ppm e excepcionalmente 50. Quando presente em concentrações normais não apresenta nocividade e toxicidade (CUSTODIO & LLAMAS, 1996). Às vezes, os fertilizantes fosfatados podem contaminar as águas subterrâneas enriquecendo-as em fosfato (SZIKSZAY, 1981).

As amostras cujas águas são utilizadas para abastecimento doméstico e/ou consumo humano e que apresentaram teores excessivos de fosfato, segundo as normas da Resolução CONAMA são: 63(1), 63(3), 71(1), 85(2), 91(1), 95. Dentre estas, as amostras 63(1), 71(1) e 85(2) revelaram teores elevados somente na 2ª fase, enquanto para a amostra 91 se deu o contrário. Os valores em geral variaram de 0,03 a 0,08 mg.L^{-1} e correspondem aos teores das amostras da *Chácara Morita* 63(1) e 63(3), respectivamente. As águas de onde foram coletadas estas duas amostras são também utilizadas para irrigação, cujo valor máximo permitido também é de 0,025 mg.L^{-1} .

Além destas citam-se aquelas destinadas a outros usos, ou seja, atividades industriais (amostra 31(1)), limpeza (amostras 41(1) e 109 - poço tubular) e uso geral, exceto para consumo (amostra 45 - poço tubular). Nestes casos as concentrações variaram de 0,03 a 0,10 mg.L^{-1} .

Visto que no geral as concentrações de fosfato encontradas nas amostras se enquadram na faixa normal das concentrações nas águas subterrâneas (0,01 a 1,0 ppm), não existe riscos de nocividade e toxicidade para os usuários dessas águas, conforme registrado em CUSTODIO & LLAMAS (1996). Com relação às fontes de fosfato, normalmente são as próprias rochas, que ao serem intemperizadas liberam o fosfato presente nos minerais (ex. apatita). Quanto à contaminação por fertilizantes fosfatados apontada por SZIKSZAY (1981), representa uma possibilidade no caso das amostras 63(1) e 63(3) da *Chácara Morita*, contudo não se conhece o uso desse tipo de produto nesta propriedade.

- **Zinco**

Os minerais de ferro, tais como, os anfibólios e a biotita são os principais portadores de zinco. Como este metal provavelmente é adsorvido pelos sedimentos hidrolizados e

solos, pequenas quantidades (traços) podem estar presentes nas águas naturais (SZIKSZAY, 1981). O consumo de água contaminada com zinco pode causar atraso físico e mental em bebês e crianças e problemas de rim e aumento da pressão arterial, em adultos (<http://www.epa.gov/OGWDW/wot/appa.html> – 10/06/99).

Nas águas analisadas foi detectada a presença de zinco em concentrações superiores ao limite máximo permitido ($0,18 \text{ mg.L}^{-1}$) para as atividades de abastecimento doméstico, irrigação e recreação, fixados pela RESOLUÇÃO CONAMA - classe 2, nas amostras 45 e 95. Estas amostras são provenientes da *Metalúrgica Oriente* (poço tubular) e da recicladora de sucatas *Rodoplast* e suas concentrações de zinco foram de $0,23$ e $0,57 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. As águas são utilizadas principalmente para abastecimento das empresas, mas também são consumidas na *Rodoplast* (poço 95).

Nestes casos, é provável que o excesso de zinco nas águas deve estar relacionado a partículas em suspensão, assim como os outros metais analisados (principalmente o ferro, manganês e alumínio) visto que nenhuma amostra foi filtrada.

6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Aspectos litoestratigráficos

A partir do levantamento geológico foram reconhecidas na área de estudo três grupos principais de rocha, ou seja, filitos e xistos, granito-gnaiss e sedimentos quaternários, além da ocorrência local de sedimentos terciários da Bacia de São Paulo. De acordo com os trabalhos regionais, os filitos e xistos pertencem ao Complexo Pilar do Grupo Açungui, porém os trabalhos realizados no Complexo Embu na porção leste do Estado de São Paulo inclui os xistos neste complexo, por isso, neste trabalho, preferiu-se não atribuir estas rochas a nenhum dos complexos, deixando a questão em aberto.

Quanto ao granito-gnaiss, pode até corresponder ao granito fácies Cantareira conforme apontado por JULIANI (1992) como sendo os predominantes na RMSP, porém não correspondem ao tipo granito-gnáissico descrito por IPT (1981b), pois estes possuem caráter porfiróide, diferentemente dos observados na área de estudo. Normalmente esses granitóides geram metamorfismo de contato quando intrudidos em rochas de baixo grau metamórfico, porém não foi possível observar em campo as relações de contato entre as unidades litológicas PEgo e PEf, bem como entre as outras unidades, devido a existência de poucos afloramentos em face da crescente ocupação territorial.

Aspectos estruturais

As maiores anisotropias observadas nas rochas através de interpretação de fotografias aéreas foram nas direções N50-70E (no granito-gnaiss) e N40-50 e N60-70 (nos filitos e xistos), que são semelhantes à direção da xistosidade, o que pode estar indicando que muitos lineamentos fotointerpretados no terreno dos xistos e filitos (especialmente os menores traços) como sendo traços de fraturas, podem corresponder a traços de xistosidade. Isto torna-se mais provável quando se compara estas direções com as direções das principais famílias de fraturas obtidas no campo, devido a falta de correspondência entre elas, pois estas últimas possuem direções próximas às dos maiores traços individuais de lineamentos. Por outro lado, esta falta de correspondência tem sido atribuída, neste estudo, principalmente à diferença entre as populações de dados analisadas em fotografia aérea e no campo, além de abrangerem áreas de tamanhos diferentes.

Ao se comparar as direções de maior anisotropia do terreno com as orientações das prováveis fraturas abertas (N60-120) definidas através da aplicação do método de Angelier,

nota-se que são correlacionáveis, contrariamente ao que se observa entre estas últimas e as principais famílias de fraturas obtidas no campo e os maiores lineamentos individuais. Dentre as principais famílias de fraturas, três delas (3^{as} famílias do granito-gnaiss e filitos e xistos e 4^a família destes últimos) apresentam orientação correspondente às direções das fraturas intermediárias em termos de armazenamento de água, conforme Figura 38, e as demais estão orientadas segundo as fraturas fechadas, indicando baixo potencial de produção de água.

No geral, as principais famílias de fraturas tanto no granito-gnaiss quanto nos filitos e xistos são subverticais (ângulos entre 73 e 87), o que faz com que a probabilidade de interceptação das mesmas por um furo vertical seja pequena. Neste caso, uma situação que poderia aumentar a probabilidade de interceptação das fraturas visando uma maior produção de água é a perfuração através de furos inclinados. No entanto, esta não é uma prática usual na perfuração de poços de água subterrânea, talvez devido às bombas elétricas serem projetadas para trabalhar na posição vertical.

As direções das prováveis fraturas abertas obtidas neste estudo não se correlacionam àquelas indicadas por CEPAS (1994) para a RMSP (Figura 7), orientadas segundo NNW e NNE, que devem ter sido determinadas segundo a direção do esforço máximo compressivo aproximadamente na mesma direção, enquanto neste trabalho, está sendo considerada a direção E-W como a direção de compressão máxima, com base em RICCOMINI (1995) e ASSUMPÇÃO (1998).

Deve-se lembrar, porém, que mesmo para as fraturas com orientações favoráveis ao armazenamento de água é importante se considerar a questão do preenchimento, pois este pode reduzir muito a permeabilidade do aquífero fraturado, conforme exposto por COSTA & SILVA (1997).

Levantamento do uso e ocupação territorial

O mapa de uso e ocupação elaborado a partir de fotografias aéreas (IEZZI, 1999) e complementado com as observações de campo revelou que a área de estudo apresenta uma ocupação diversificada e esparsa, porém com predominância dos setores residenciais, comerciais e industriais. A grande diferença observada entre a ocupação da área nos anos de 1996 (fotografias aéreas) e 1999 (levantamento de campo) é com relação às áreas comerciais, que atualmente se concentram mais ao longo das estradas principais (avenida Ragheb Chohfi e estrada do Iguatemi). Os setores industriais e residenciais se localizam

mais a norte e leste da área, respectivamente. Na estrada do Iguatemi, no trecho próximo à Fazenda do Carmo, as atividades comerciais observadas estão relacionadas a ocupações irregulares do terreno, onde se observam fábricas de blocos, depósitos de ferro-velho e desmanche de veículos.

A área Fazenda do Carmo constitui a área onde a ocupação é menos densa em virtude da existência da APA Mata do Iguatemi e também por ser de topografia mais acidentada. Contudo, esta situação está mudando com a implantação dos conjuntos habitacionais da CDHU nas partes norte e sul da APA.

Com relação às atividades de mineração ativas na área de estudo, destacam-se a exploração do granito-gnaiss em pedreiras (Figura 40) para a produção de pedra britada (exceto uma das pedreiras que se encontra desativada) e a exploração do solo argiloso em região de planície (Figura 40) para a fabricação de tijolos, existentes desde a década de 40 conforme relatadas por AZEVEDO (1945).

O cadastramento de fontes potenciais de contaminação da água subterrânea permitiu identificar fontes pontuais na área de estudo correspondentes a lavagem de tambores contendo resíduos de tintas e solventes, disposição irregular de resíduos sólidos, postos de serviços e cemitério. Dentre estes, os dois primeiros apresentam uma característica peculiar que é a freqüente mudança de localização, o que, em parte, dificultou o cadastramento dessas fontes na área. Neste cadastramento não foram incluídas as indústrias em função das dificuldades encontradas para a obtenção de dados como tipo de atividade, materiais manuseados e tipo e volume de efluentes produzidos em cada uma delas, além do destino final dos mesmos, por se tratar de dados não confidenciais. Também não foram incluídos os poços desativados, pois seriam necessárias informações sobre os aspectos do poços quanto a existência de tampas e lacres, especialmente os poços tubulares, que quase não foram observados em campo devido a dificuldade de acesso imposto pelas empresas nas quais se situam.

Quanto a disposição irregular de resíduos sólidos (domésticos e industriais) representariam um perigo maior de contaminação das águas subterrâneas se fossem locais fixos de disposição e em quantidades relativamente maiores que aquelas que foram observadas na área, por isso são mais representativos de problemas ambientais relacionados à superfície, como a poluição e assoreamento dos rios e proliferação de organismos patológicos, que podem colocar em perigo a saúde da população que reside próxima a estes pontos de disposição de resíduos.

Levantamento hidrogeológico

Antes de mais nada é necessário esclarecer que os estudos referentes aos aquíferos da área englobam tanto o aquífero poroso, representado pelo manto de intemperismo e coberturas alóctones (sedimentos coluvionares e aluvionares) como o aquífero fraturado propriamente dito (rocha sã fraturada), conforme descritos em COSTA & SILVA (1997). Neste contexto, foi verificado que a maioria dos poços cadastrados é representada pelos poços cacimbas (pelo menos 87 poços ativos) que exploram água essencialmente do aquífero poroso (cujas espessuras médias são de 33,25 e 54,67 m no granito-gnaiss e nos filitos e xistos, respectivamente), utilizando-as predominantemente para atividades industriais, comerciais e rurais. Em contrapartida, os poços tubulares (pelo menos 24 poços ativos) exploram água quase exclusivamente do aquífero fraturado, com exceção do poço 109, porém as águas são usadas para os mesmos fins que as dos poços cacimbas. A prática de utilização da água subterrânea na área é antiga e tem se intensificado com a implantação das indústrias e estabelecimentos comerciais, que passaram a explorar água do aquífero fraturado com maior intensidade a partir da década de 90, com o aumento da perfuração de poços tubulares. A quantidade média de água utilizada por dia considerando um período de 12 horas de uso é estimada em 1.975 L por poço cacimba e em 30.720 L por poço tubular, sendo a única fonte de abastecimento de água para muitas famílias.

Contudo, os dados de produção dos poços obtidos através de testes de bombeamento revelaram que o aquífero fraturado desenvolve vazões relativamente baixas, porém maiores nos poços que são perfurados nos filitos e xistos (média de 4,65 m³/h), a exemplo dos poços (38, 40, 71 e 119), independente da profundidade dos mesmos. Resultados semelhantes foram encontrados nos filitos e xistos do Grupo São Roque a noroeste da Grande São Paulo, por MENEGASSE (1991), cujas vazões dos poços foram da ordem de 20 m³/h. Isto não é o que em geral se observa, pois segundo a relação de potencialidade hídrica estabelecida por COSTA & SILVA (1997), os filitos ocupam o último lugar e os gnaisses o segundo, estando acima até dos micaxistos. Isto é válido também de acordo com a avaliação do potencial hidrogeológico realizada por CEPAS (1994) no aquífero cristalino da RMSP, onde as rochas granitóides e gnáissicas (unidade PEgo) apresentam melhor potencial de armazenamento de água que os micaxistos, devido ao maior desenvolvimento de estruturas de caráter rúptil, bem como de manto de intemperismo mais permeável em relação às últimas. Tendo em vista que, contrariamente aos dados bibliográficos, esta é a região onde se encontra as maiores produções de água na área, talvez o espesso manto de intemperismo esteja funcionando como um reservatório regulador, a despeito da alta porcentagem de argila na sua composição.

Uma outra situação favorável ao armazenamento de água apontado pela literatura são os contatos entre diferentes litotipos, porém, na área de estudo, dois poços (30 e 115(1)) que se encontram próximos ao contato entre os filitos e xistos e granito-gnaiss apresentam vazões relativamente baixas entre 1,67 e 2,00 m³/h, indicando que este controle não exerce grande influência no armazenamento de água na área de estudo.

Com relação aos valores de capacidade específica obtidos (0,005 a 0,139 m³/h/m), nota-se que são extremamente baixos, sendo inferiores aos verificados no aquífero fraturado da RMSP, por DAEE (1975), com média de 0,34 m³/h/m. Porém, para que estes dados sejam utilizados na avaliação da qualidade dos aquíferos em termos potenciais de produção, seria necessária uma análise dos testes de bombeamento dos poços, aos quais não se teve acesso.

Durante este estudo, também se tentou realizar a correlação entre os dados de vazão e capacidade específica dos poços tubulares e proximidade de lineamentos, a exemplo dos trabalhos de GONÇALVES (1978), MENEGASSE (1991), CELLIGOI (1993), FERNANDES (1997) e KODITUWAKKU (1997), porém, em função dos poucos dados obtidos e da localização imprecisa de alguns poços, a pequena correlação observada não foi considerada como conclusiva.

Com base nas profundidades de entrada de água dos poços foi verificado que as fraturas abertas se encontram no máximo até 192 metros no granito-gnaiss, sendo comparáveis com as principais entradas de água na região de Guarulhos obtidas por DINIZ (1996).

Considerando a vazão média dos poços tubulares em geral (4,44 m³/h) e o número estimado de habitantes (22.085 habitantes) que ocuparão os conjuntos habitacionais da CDHU na área Fazenda do Carmo, verifica-se que para suprir essa população através de água subterrânea, seriam necessários mais de 41 poços em regime de bombeamento de 24 horas, o que torna-se inviável o uso da água subterrânea como fonte principal de abastecimento nesta área.

Análises químicas

A verificação do erro das análises químicas, através do cálculo do balanço iônico, revelou valores que variaram no geral de 0 a 37,05%, sendo que para a maioria das amostras o valor de erro se situou entre 10 e 20%, o que é considerado elevado. O principal

motivo disso é atribuído às imprecisões na determinação da alcalinidade (a partir da qual se obteve o íon bicarbonato) que foi efetuada utilizando-se um conta-gotas comum, pois dependendo da posição em que é colocado no momento da dosagem do ácido sulfúrico pode gerar volumes diferentes para cada gota. O fato de maiores porcentagens de amostra (70%) entre aquelas cuja alcalinidade foi determinada no campo terem indicado erros situados entre 10 e 30%, comparado com as amostras da 1ª fase (alcalinidade em laboratório), mostra a influência das transformações físico-químicas após a amostragem, modificando os parâmetros a serem analisados em laboratório, incluindo o bicarbonato que já estava mais em equilíbrio com a composição da amostra quando analisada, no caso das amostras coletadas na 1ª fase.

Também deve ser lembrado que baixas concentrações iônicas como as das águas analisadas podem gerar valores mais elevados de erro sem que isso represente erros de análise, segundo o que mostraram CUSTODIO & LLAMAS (1996). Diante desses fatos, conclui-se que os valores de erro obtidos são considerados aceitáveis.

As maiores condutividades elétricas das águas dos poços cacimbas podem ser justificadas pela permeabilidade de poros existente no aquífero poroso que proporciona um maior contato entre rocha/água e com isso um aporte de sais mais rápido quando comparado com os aquíferos fraturados (poços tubulares), apesar de nestes últimos existirem condições mais favoráveis à dissolução de sais, como maiores temperaturas e pressões. Como os valores de condutividade elétrica de dois poços tubulares (45 e 109) foi determinada através das concentrações dos íons analisados no laboratório é possível que as transformações físico-químicas que normalmente se processam após a amostragem tenham afetado a solubilidade de alguns elementos reduzindo suas concentrações nas águas e resultando em condutividades mais baixas.

O pH ácido das águas provenientes dos poços cacimbas e as baixas concentrações de bicarbonato predominantes são compatíveis com os das águas de rochas cristalinas em geral.

As águas analisadas apresentaram ampla variação composicional evidenciada através do diagrama de Piper (Figura 57), de modo que as provenientes do aquífero poroso foram classificadas predominantemente como sulfatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcicas, enquanto as provenientes do aquífero fraturado foram classificadas predominantemente como bicarbonatadas sódicas. No caso das águas do aquífero poroso (poços cacimbas) pode-se dizer que, no geral, o cálcio predomina sobre o sódio e potássio e os ânions bicarbonato e nitrato predominam sobre os demais (sendo que, neste caso, o nitrato pode

estar indicando contaminação das águas), enquanto as águas dos poços tubulares são mais ricas em sódio que em cálcio e muito ricas em bicarbonato, evidenciando uma zonalidade vertical em termos de composição química, segundo o que comentou SZIKSZAY (1993).

A análise da qualidade da água permitiu verificar que de acordo com os usos (abastecimento doméstico e/ou consumo humano, irrigação, atividades industriais e criação de animais) para os quais são destinadas as águas correspondentes aos pontos amostrados algumas águas apresentam restrições quanto ao nitrato, ferro, manganês, alumínio, fosfato e zinco, bem como de pH.

Aquelas que são destinadas ao abastecimento doméstico ou consumo humano apresentam maiores restrições quanto ao nitrato, ferro, manganês e zinco, sendo que este último e o primeiro podem causar graves doenças principalmente em crianças. O ferro e o manganês causam manchas nas roupas, além do ferro afetar o sabor das águas assim como o pH ácido que, por sua vez, podem causar corrosão nas tubulações. Para a irrigação, embora algumas águas tenham apresentado teores elevados de nitrato, manganês e alumínio, não se encontrou na literatura os motivos que levam às restrições para esta atividade. As águas destinadas às atividades industriais, especialmente resfriamento de máquinas (poço 87) apresentaram restrições principalmente com relação ao ferro e ao pH, pois podem causar problemas de ferrugem e corrosão nos equipamentos. Para a atividade de criação de animais, apenas as águas do poço 71(1) - *Granja de Codorna Nakamura* é que se destinam a esse uso e apresentaram teor excessivo de nitrato atribuído à influência dos excrementos das aves gerados em função da própria atividade.

Dentre as fontes apontadas como possíveis responsáveis pelas elevadas concentrações dos elementos e compostos analisados que se relacionam com as atividades antrópicas desenvolvidas em superfície estão as fossas, uso de produtos químicos agrícolas (nitrogenados e fosfatados), disposição de resíduos sólidos (areia de fundição) e efluentes industriais no solo e/ou nas águas superficiais. Assim, são apontadas duas áreas nas quais podem ter se desenvolvido plumas de contaminação: região próxima à APA Mata do Iguatemi às margens do córrego Guaratiba e rio Jacu nas proximidades do ponto 25, que poderiam ser investigadas com detalhe em trabalhos futuros.

Quanto aos metais pesados (cromo, níquel, chumbo, cádmio) analisados que poderiam se relacionar com as atividades de lavagem de tambores, nenhum deles foi detectado nas amostras analisadas, o que de forma alguma indica ausência de contaminação por estas atividades, pois este material pode estar presente na zona não saturada não tendo atingido ainda o nível d'água.

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O maciço fraturado sobre o qual foi desenvolvido o estudo é constituído por rochas cristalinas de idade proterozóica, do Grupo Açungui (filitos, xistos e anfibolito) e granitóide intrusivo (granito-gnaiss) inseridas em área de grande complexidade estrutural.

A água subterrânea ocorre no chamado aquífero cristalino subdividido em: aquífero poroso formado pelo manto de intemperismo e sedimentos alóctones (sedimentos coluvionares e aluvionares) e o aquífero fraturado representado pela rocha sã fraturada e desempenha um importante papel no abastecimento de água da área de estudo, constituindo a única fonte de abastecimento de água para muitas famílias.

Os objetivos propostos neste trabalho foram avaliar as condições hidrogeológicas do aquífero cristalino em termos qualitativos, através da caracterização do uso e ocupação da área, principalmente quanto ao potencial poluidor, com a identificação de fontes potenciais de contaminação da água subterrânea, e a proposição de diretrizes de proteção, visando determinar a viabilidade ou não de utilização da água subterrânea na área Fazenda do Carmo, onde estão sendo implantados os conjuntos habitacionais da CDHU. Neste sentido as principais conclusões desta pesquisa são:

1. A área de estudo apresenta uma ocupação diversificada, porém com predominância dos setores residenciais, comerciais e industriais.
2. As rochas com maior potencial de produção de água na área de estudo são os filitos e xistos provavelmente devido ao relativamente espesso manto de intemperismo (cerca de 54 metros), que se acredita funcionar como reservatório de água interligado ao aquífero fraturado.
3. As famílias de fraturas com maior potencial de armazenamento de água na área de estudo são as orientadas segundo as direções N56W/82SW (no granito-gnaiss) e N35W/86NE e N36W/87SW (nos filitos e xistos), correspondendo a um potencial intermediário de armazenamento de água.
4. As águas subterrâneas apresentam baixas concentrações de íons, em geral, e suas composições químicas variam em profundidade, sendo classificadas predominantemente como sulfatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcicas no aquífero poroso e predominantemente como bicarbonatadas sódicas no aquífero fraturado.

5. A área de estudo apresenta um elevado potencial de contaminação das águas subterrâneas em função das atividades antrópicas desenvolvidas como: lavagem de tambores contendo produtos químicos (tintas e solventes), postos de serviços, disposição irregular de resíduos sólidos, cemitério, prováveis fossas, rios poluídos por esgoto e poços mal conservados.
6. O principal problema verificado de contaminação das águas subterrâneas da área, especialmente do aquífero poroso, está relacionada ao nitrato, cujas fontes de contaminação são atribuídas principalmente a fossas e/ou rios poluídos por esgoto.
7. A qualidade das águas subterrâneas em termos dos parâmetros analisados é em geral considerada adequada em relação aos usos para os quais se destinam, com exceção daquelas com elevados teores de nitrato e zinco, utilizadas para consumo humano, devido às graves doenças que estes podem provocar.
8. Em vista da grande demanda de água requerida para abastecer os futuros moradores das unidades habitacionais da CDHU na área Fazenda do Carmo, conclui-se que a utilização da água subterrânea é viável apenas como uma fonte complementar de abastecimento, devendo ser utilizada com critério em função dos teores anômalos dos compostos e elementos químicos encontrados.
9. Como principais diretrizes de proteção das águas subterrâneas são propostas a instalação de rede de saneamento básico em toda a área, o que certamente contribuirá para a redução e/ou eliminação do nitrato nas águas, e uma fiscalização mais rigorosa de órgãos competentes sobre as atividades industriais e comerciais que geram algum tipo de resíduo, no sentido de não o disporem irregularmente e sim em aterros sanitários. Além disso, se faz necessária uma melhor orientação aos proprietários de poços, referente à importância da boa conservação dos poços para a qualidade das águas subterrâneas.

Para trabalhos futuros na área voltados à prospecção de água subterrânea são recomendados estudos geofísicos, por exemplo, através do método VLF ("Very Low Frequency"), com caminhamentos perpendiculares às prováveis fraturas abertas, ou seja, mais ou menos na direção N-S, para a detecção das fraturas em subsuperfície e, em seguida, a aplicação de eletrorresistividade pela técnica SEV (Sondagem Elétrica Vertical) nos pontos onde foram localizadas as fraturas, para a determinação da espessura do manto de intemperismo. Neste caso, os locais mais indicados para a perfuração de poços deverão ser aqueles sobre as fraturas e onde o manto de intemperismo é mais espesso. Adicionalmente, não deve ser descartada a possibilidade de execução de poços inclinados,

com o objetivo de aumentar a probabilidade de cruzar fraturas, já que estas são subverticais.

Também se recomenda que os novos poços a serem perfurados na área explorem tanto o aquífero poroso como o aquífero fraturado, principalmente no terreno de ocorrência dos filitos e xistos, a exemplo do poço 109, já que o manto de intemperismo parece funcionar como um reservatório de água interconectado com o aquífero fraturado, o que também deveria ser investigado em trabalhos futuros.

Quanto à avaliação de contaminação das águas subterrâneas através das fontes apontadas neste estudo são recomendados estudos de detalhe que identifiquem as áreas de influência dessas atividades, levando em conta o fluxo subterrâneo e análises químicas de substâncias orgânicas das águas da zona saturada e não saturada, como por exemplo nas duas áreas onde podem ter se desenvolvido plumas de contaminação, comentadas no capítulo anterior. Nestes casos, as amostras destinadas a análises de metais devem ser filtradas, eliminando a possibilidade de solubilização de partículas em suspensão após a adição do ácido nítrico, que pode dificultar as interpretações das análises. Se necessário a determinação da alcalinidade, que seja feita diretamente no campo, utilizando-se uma pipeta volumétrica em substituição ao conta-gotas, e com a maior rapidez possível para reduzir ao máximo o contato da amostra com a atmosfera. As análises de potabilidade devem incluir também parâmetros organolépticos e bacteriológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. (1964) Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim. Instituto Geológico**, v.41, p.167-262.
- ANGELIER, J.; MECHLER, P. (1977) Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. **Bulletin de la Société Géologique de France**, v.19, n.6, p.1.309-18.
- ARTHAUD, F. (1969) Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles. **Bulletin de la Société Géologique de France**, v.11, p.729-37.
- ASSUMPÇÃO, M. (1998) Sismotectónica y esfuerzos en Brazil. Física de la Tierra. Madrid.
- AZEVEDO, A.E. (1945) A região de Itaquera. In: _____. **Subúrbios orientais de São Paulo**. São Paulo, p.97-119. (Tese provimento de Cátedra) - FFLCH-GEOGRAFIA, Universidade de São Paulo.
- AZEVEDO, A.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. (1998) Águas subterrâneas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de engenharia**. São Paulo, ABGE. p.111-130.
- BEAR, J. (1972) **Dynamics of fluids in porous media**. Mineola, NY, Dover. 320 p.
- BERTACHINI, A.C. (1987) **Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido na região de Jundiaí, em São Paulo**. São Paulo, 110p. (Dissertação-Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CARNEIRO, C.D.R. (1996) Projeção estereográfica para análise de estruturas: programas ESTER E TRADE, fundamentos teóricos, exercícios e aplicações em microcomputador, laboratório e campo. **Publicação IPT**, n.2377, p.1-158.
- CAVALCANTE, I.N. (1990) **Estudo hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo** - área Piloto de Atibaia. São Paulo, 123p. (Dissertação-Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- CDH - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (1987) **Programa de assentamento habitacional de 20.000 unidades na RMSP - Projeto Fazenda do Carmo**. São Paulo, CDH. 23p.
- CELESTINO, T.B. (1986) Determinação de propriedades e parâmetros de maciços rochosos. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE MECÂNICA DE ROCHAS, 2., Porto Alegre, 1986. **Anais**.
- CELLIGOI, A. (1993) **Recursos hídricos subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina – PR**. São Paulo, 83p. (Dissertação-Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CEPAS - CENTRO DE PESQUISAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (1994) **Diagnóstico hidrogeológico da região metropolitana de São Paulo** - relatório final. São Paulo, Sabesp/Cepas/ IG-USP, 115p.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1987) **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, CETESB. 150 p.
- COSTA, W.D.; SILVA, A.B. (1997) Hidrogeologia dos meios anisotrópicos. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (coords.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza, CPRM/LABHID. p.133-163.
- COUTINHO, J.M.V. (1972) Petrologia do pré-cambriano de São Paulo e arredores. **Boletim IG-USP: Publicação Especial**, n.3, p.5-99.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. eds. (1996) Hidrologia subterrânea. 2. Ed. Barcelona, Omega. v. 1.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1975) **Estudo de águas subterrâneas, região administrativa I - Grande São Paulo**. São Paulo, DAEE. v.1, p.1-220.
- DINIZ, H.N. (1996) **Estudo do potencial hidrogeológico da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, Municípios de Guarulhos e Arujá, SP**. São Paulo, 296p. (Tese-Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- EMPLASA - EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO (1980) **Carta geológica da região metropolitana da Grande São Paulo: escala 1:100. 000.** São Paulo, EMLASA. 2 folhas.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; HASUI, Y.; MAGALHÃES, F.S.; FRANGIPANI, A. (1992) Análise estrutural aplicada à prospecção de fontes termais no planalto de Poços de Caldas (SP/MG). In: HASUI, Y. ; MIOTO, J.A.. **Geologia estrutural aplicada.** São Paulo, ABGE/Votorantim. p. 439-459.
- FERNANDES, A.J. (1997) **Tectônica cenozóica na porção média da bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia.** São Paulo, 236p. (Tese-Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, A.J. (1991) **As unidades regionais do Complexo Embu e seu embasamento, no leste do Estado de São Paulo.** São Paulo, 120p. (Dissertação Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FOSTER, S.; GOMES, D.C. (1989) **Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos y costos.** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, Peru. Organización Panamericana de la Salud/Organização Mundial de la Salud/Programa de Salud Ambiental (HPE), 111p.
- FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R.C.A. (1987) **Contaminación de las aguas subterráneas: um enfoque ejecutivo de la situación en America Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable.** Lima, CEPIS. 42p.
- GIMENEZ-FILHO, A.; MACHADO-JR. D. de L.; ZAINÉ, J.E.; FRASCÁ, M.H.B. de O. (1991) Geologia das folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba – SP. Parte 2: Embasamento Meridional da Bacia de Taubaté. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. **Atas.**, São Paulo, SBG, p. 491-500.
- GONÇALVES, R.L.F. (1978) Critérios fotogeológicos para locação de poços em rochas cristalinas de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. **Anais.** Recife, SBG, v. 6, p. 2934-2942.
- HASUI, Y. (1975a) Evolução polifásica do precambriano a oeste da capital paulista. **Boletim IG-USP: Publicação Especial**, n.6, p.95-107.

- HASUI, Y. (1975b) Geologia da Folha de São Roque. **Boletim IG-USP: Publicação Especial**, n.6, p.157-183.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. (1980) Estruturas e tectônica do pré-cambriano de São Paulo e Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 52, n.1, p. 61-76.
- HASUI, Y.; MIOTO, J.A. (1992) Mina de carbonatito de Jacupiranga: permeabilidade do maciço avaliada pelo modelo geoestrutural. In: _____. **Geologia estrutural aplicada**. São Paulo. ABGE/ Votorantim. p.383-398.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. (1976) Evolução geológica do precambriano na região do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v.6, n.3, p.182-200.
- HENRIKSEN, H. (1995) Relation between topography and well yield in bore-holes in crystalline rocks, Sogn of Fjordane, Norway. **Ground Water**, v.33, n.4, p.635-643.
- HIRATA, R.C.A. (2000) Comunicação pessoal. São Paulo-SP.
- IEZZI, P.B.T. (1999) **Estudo de contaminação de água subterrânea por agentes antrópicos na região da APA de Iguatemi**. Monografia de Trabalho de Formatura – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 33p.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (1997) Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, IG/CETESB/DAEE, v. 1, 129 p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981a) **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:100.000**. São Paulo, IPT. 2 v.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981b) **Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. São Paulo, IPT. 2 v.

- JULIANI, C. (1992) O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTECTÔNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, São Paulo, 1992. **Seminário**, São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 3-20.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P.; SCHORSCHER, H.D. (1986) Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra do Itaberaba na Região do São Roque – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. **Anais**. Goiânia, SBG. v.2, p.730-743.
- KODITUWAKKU, K.A.W. (1997) Extraction and modelling spatial parameters in groundwater potential studies in a hard rock terrain, Sri Lanka. In: MARINOS, P.G.; KOUKIS, G.C.; TSIAMBAOS, G.C.; STOURNARAS, G.C. eds. **Engineering Geology and the Environment**. Rotterdam, IAEG. p.1303-1306.
- LONG, J.C.S.; REMER, J.S.; WILSON, C.R.; WITHERSPOON, P.A. (1982) Porous media equivalents for networks of discontinuous fractures. **Water Resources Research**, v.18, n.3, p.645-658.
- LONG, J.C.S.; WITHERSPOON, P.A. (1985) The relationship of the degree of interconnection to permeability of fractured networks. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.B4, p.3087-3098.
- LOUIS, C. (1974) **Rock hydraulics**. Springer, Vienna. (Courses and Lectures-International Centre for Mechanical Sciences, 165). p.299-387.
- MAGALHÃES, F.S.; MARQUES, J.D.; SERRA Jr., E. (1992) Análise estrutural do maciço rochoso de fundação da barragem de Porto Primavera, rio Paraná (SP/MS). In: HASUI, Y.; MIOTO, J.A.. **Geologia estrutural aplicada**. São Paulo, ABGE/Votorantim. p.297-311.
- MELO, M.S.; PONÇANO, W.L.; MOOK, W.G.; AZEVEDO, A.E.G. (1987) Datações C^{14} em sedimentos da Grande São Paulo. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre, ABEQUA, p.427-436.
- MENEGASSE, L.N. (1991) **Estudo hidrogeológico das rochas metassedimentares do Grupo São Roque a NW da Grande São Paulo** - critérios para locação de poços profundos. São Paulo, 104p. (Dissertação-Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE (1996) In: Relatório Técnico da Área Denominada “Passagem Funda”. São Paulo, Departamento de Controle da Qualidade Ambiental – Decont 1. p.1-64.
- QUADROS, E.F. (1992) **A condutividade hidráulica direcional de maciços rochosos**. São Paulo, 490 p. (Tese - Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- QUADROS, E.F. (1982) **Determinação das características do fluxo de água em fraturas de rochas**. São Paulo, 236 p. (Dissertação - Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- REBOUÇAS, A. (1996) O papel das águas subterrâneas, usos, controle e preservação. **Caderno Técnico. ABAS. Diagnóstico do Setor de Hidrogeologia. PADCT-MCT**, n.3, p.1-46.
- REBOUÇAS, A.C. (1994) Fundamentos de gestão de aquíferos. In: CONGRESO LATINO AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 2., Santiago, 1994. **Metodologías de evaluacion de sistemas aquiferos**. Santiago-Chile, ALHSUD/CEPAS-IGUSP. v.1, p.1-23.
- REBOUÇAS, A.C. (1992) Condições de uso e proteção das águas subterrâneas da RMSP. In: PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, São Paulo, 1992. **Seminário**. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p.77-87.
- REBOUÇAS, A.C. (1988) Groundwater in Brazil. **Episodes**. v.11, n.3, p.209-214.
- REBOUÇAS, A.C.; CAVALCANTE, I.N. (1987) Hydrogeology of Crystalline Rocks in Brazil. **Groundwater Exploration and Development in Crystalline Basement Aquifers**. Harare, Zimbabwe, África. v.1. Series number CSC (89) WMR – 13, Technical Paper 273. p. 103-126.
- REBOUÇAS, A.C.; MENEZES, M.A.S. (1988) Groundwater a vital resource in Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 28., Washington, 1988. **Abstracts**. Washington, International Geological Union of Sciences. v.2, p.680.
- RICCOMINI, C. (1995) **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas**

vizinhas. São Paulo, 100p. (Tese Livre-Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

RICCOMINI, C. (1989) **O rift continental do sudeste do Brasil.** São Paulo, 256p. (Tese-Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; TAKIYA, H. (1992) Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. In: PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTECTÔNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, São Paulo, 1992. **Seminário**, São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p.21-45.

ROCHA, M.; FRANCISS, F.O. (1977) Determinação da permeabilidade anisotrópica dos maciços rochosos a partir de amostras integrais. **Geotecnia**, n.19, p__.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. (1997) **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo:** escala 1:500.000. São Paulo, FFLCH/USP, IPT, FAPESP. 2v.

SANTORO, E.; ENS, H.H.; NAGATA, N. (1991) Geologia das folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba – SP. Parte 1: Embasamento Setentrional da Bacia de Taubaté. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. **Atas.**, São Paulo, SBG, p.481-490.

SANTOS, A.C. (1997) Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (coords.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza, CPRM/LABHID-UPFE. p.81-108.

SILVA, F.A. (2000) Comunicação pessoal. São Paulo - SP.

SNOW, D.T. (1966) **Three - hole pressure tests for anisotropic foundation permeability.** Springer, Vienna. v.4, p.298-316.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. (1976) Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v.16, n.32, p.71-104.

SOUZA, L.A.P.; SILVA, R.F.; IYOMASA, W.S. (1998) Métodos de investigação. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia.** São Paulo, ABGE, p.193.

SZIKSZAY, M. (1993) Geoquímica das Águas. **Boletim IG-USP**, Série Didática n. 5, 166p.

SZIKSZAY, M. (1981) **Hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, estado de São Paulo**: origem, classificação e caracterização. São Paulo, v.1. (Tese Livre-Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

THEODOROVICZ, A.; YAMATO, A. A.; VASCONCELOS, C. S. ; SANTARÉM, P. C.; SILVA, L. C. de; SILVA, V. A. da (1991) Características lito-estruturais do cinturão de cisalhamento transcorrente São Paulo – região leste da Grande São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. **Atas.**, São Paulo, SBG, p. 473-480.

UNESCO (1984) **Ground water in hard rocks**. Paris, UNESCO. (Studies and reports in hydrogeology, 33). 228p.

ANEXO 1

MEDIDAS ESTRUTURAIS

MEDIDAS ESTRUTURAIS

Dia	Afloramento	Bandamento	Xistosidade	Crenulação	Juntas	Falha	Lineações (e) estrias (m) mineral	Observações
Dia	1 - próximo ao posto		345/89	146/87				
20/01/1998	2 - campo de futebol (Jd.Marilu)		318/52		165/82	323/44	288/35 (e)	
	3 - próximo à falha		327/72		183/75			
			339/76		220/86			
			335/70		169/65			
			330/66		336/64			
			330/76		74/85			
			332/72		68/82			
					68/86			
					268/77			
					342/47			
					248/69			
					253/86			
					34/32			
					54/90			
					49/90			
					74/90			
					59/90			
					78/59			
					22/12			
					56/90			
Dia					77/82			
15/02/1998					66/90			
					10/90*			*Numa lente quartzosa fraturada
					59/90*			
					52/90*			
					105/24*			
					228/79*			
	4 - a 100 m do anterior		345/90					
			315/72					
	1 - próximo ao posto				330/55			
					87/81			
					120/73			
					120/65			
	5 - beira da Estrada do Pês-sego		346/88		105/78			
			170/78		97/85			
			170/72		270/88			
					112/56			
					108/77			
					335/64			
					170/80			
					280/90			
					86/80			
					65/73			
	afloramento (talude campo de futebol).	305/57			305/57			aflor. fora da área
	direção afloramento 107				261/54		90/05	lin = eixo de crenulação
					326/74			mov. sinistral
					118/70			frat. nitidamente aberta
			300/55		300/55			
	6 - afloramento - Estrada da 3ª Divisão		345/40		285/85			
	7 - afloramento - Estrada do Iguatemi (ao lado do Drive-in)				00/45			
Dia					248/51			
13/09/1998					342/50			
					240/68			
					142/70			
								intercalações quartzosas
								345/60
	8 - afloramento - Grota na área Estrada do Palanque				315/54		23/21	lin = eixo de crenulação
					307/47			
			331/41		331/41			
					323/85			
	9 - Pedreira Lajeado I	170/75			250/90			frat. medida de longe
		170/85			185/76			
						272/56	250/55 (e)	mov. dextral
					215/74			
					270/48			
Dia					275/85			
19/09/1998					252/50			
					300/69			frat. com recristalização
					285/61			
					00/75			
					180/85			
					128/87			
					155/40			

	11 - campo de futebol	335/80	335/80		122/77			
					134/85			
					71/69			
		335/72			335/72			
					115/80			
					119/75			
					115/75			
					125/90			
Dia								
26/09/1998	9 - Pedreira Lajeado 1					276/76	5/15 (e)	mov.sinistral (f.inversa?)
	9 - Pedreira Lajeado 1					275/84	1/59 (e)	mov.sinistral
	9 - Pedreira Lajeado 1					275/67		mov.sinistral
	9 - Pedreira Lajeado 1				275/81			
					165/42			
					165/21			
					195/30			
					290/24			
					100/45			
								veio preto: 123/90
	12 - Pedreira Lajeado 2				85/84	230/62	165/42 (e)	mov.dextral
	direção afloramento N30E				90/80	215/85		falha normal
					78/90	75/86	165/13 (e)	mov.dextral
					95/84			
						00/90	270/13 (m)	zona de cis. (dextral?)
	12 - Pedreira Lajeado 2				150/70	94/85		cavalgamento
	direção afloramento N85E				137/74	135/70	225/07 (e)	mov.sinistral?
					158/34			
Dia					122/79			
07/11/1998	12 - Pedreira Lajeado 2				215/85	140/70	50/04 (e)	mov.sinistral
	direção afloramento N45E				75/76	130/70	45/06 (e)	mov.dextral
					210/86			
					315/73			
					60/90			zona de cisalhamento
	12 - Pedreira Lajeado 2				150/33	135/71	45/00 (e)	mov.sinistral
	direção afloramento NS				145/21	215/85	302/06 (e)	mov.sinistral
					75/90	38/90	308/05 (e)	mov.sinistral
					95/80			
					150/44			
					90/80			
					245/85			
	13 - afloramento em frente	00/60						bandamento composi-
	ao Carrefour Pêssego							cional
	14 - Pedreira Lajeado 3					78/85	348/0 (m)	mov. dextral
	direção afloramento NS					95/80	12/23 (e)	mov. dextral
						90/80	00/18 (e)	mov. sinistral
	14 - Pedreira Lajeado 3					249/84	154/07 (e)	mov. sinistral
	direção afloramento 333							
	14 - Pedreira Lajeado 3					298/85	28/10	mov. sinistral
	direção afloramento N20					50/86	320/05 (e)	mov.sinistral
						115/75	25/15 (e)	
						127/81	37/10 (e)	mov.sinistral
					112/65			
					112/25			
					79/79			
					266/90			
					120/86			
					234/90			
					110/82			
					121/81			
					09/35			
					174/79			
					121/64			
					10/54			
					139/70			
					09/87			
					140/71			
					180/78			
Dia					121/65			
14/11/1998					22/78			
					125/75			
					40/82			
					119/70			
					115/68			
					80/84			
					264/90			
					275/85			
					85/84			
					100/60			
					95/59			
					96/80			
					215/75			

				211/84			
				100/60			
				110/40			
				255/81			
				86/56			
				75/71			
				100/70			
				110/71			
				100/65			
				110/76			
				180/76			
				190/62			
				125/85			
				85/77			
				95/60			
				302/70			
				90/55			
	14 - Pedreira Lajeado 3			239/44			
	direção afloramento 310			180/62			
				220/54			
				96/81			
				90/80			
				195/46			
				218/60			
Dia				26/83			
14/11/1998				215/86			
				242/66			
				95/85			
				180/82			
				185/60			
				180/76			
				248/84			
				128/84			
				90/83			
				264/90			
				73/88			
				175/50			
				224/30			
				106/82			
				186/32			
				80/80			
				200/31			
				290/76			
				210/28			
				209/50			
				100/79			
				180/45			
				190/40			
				186/35			
				280/82			
				190/76			
				79/76			
				348/78			
				192/38			
				206/45			
				232/38			
				75/79			
				77/75			
				80/79			
				180/31			
				138/79			
				222/38			
				264/75			
				79/80			
				230/70			
				80/77			
				210/36			
				256/90			
				210/90			
	15 - afloramento Av. Souza		345/72				
	Ramos						
aflor. = afloramento; cis. = cisalhamento; f. = falha; frat. = fratura; lin. = lineação; mov. = movimento.							

ANEXO 2

*ENDEREÇOS DAS EMPRESAS E/OU ESTABELECIMENTOS
CADASTRADOS*

Nº Empresa	Nome da Empresa/Estabelecimento	Endereço	Telefone	Contato
1	Marmorian - Mármore Sintético do Brasil S/A	R.Agrimensor Sugaya, 391	686-0377	Décio
2	Nelpie Indústria Metalúrgica Ltda	R.Matashiro Yamaguishi, 129	6521-0844/6521-1035 fax	Valdemir/Marcos
3	Dalver Ind. e Com. de Artefatos de Metal Ltda	R.Matashiro Yamaguishi, 267	686-3937/686-4236/686-1019	
4	Brinquedos Cardoso	R.Matashiro Yamaguishi, 278/390	6521-3322	Sílvio
5	Planam	R.Zenichi Sato, 21	6521-0507	Orlando
6	Tecnotubo S/A - Indústria de Peças Tubulares	R.Ioneji Matsubayashi, 1221	6944-6844/686-0089	Silas Rodrigues
7	Furatec - Perfuração de Chapas Ind. e Com. Ltda	R.Ioneji Matsubayashi, 112	6944-5742/6944-5846 fax	
8	Tecnofuro Ind. e Com. Ltda	R.Ioneji Matsubayashi, 98	686-1699/6944-4130/6944-9682 fax	
9	Orfanato Casa do Cristo Redentor	R.Agrimensor Sugaya, 986	6521-6211/6217/6222	Oliver
10	Apolo - Indústria de Brinquedos	R.Zenichi Sato, 341		
11	Chácara CDR	R.Prof.Hasegawa, 1613	6101-2052/271-4898	Fernandes/Maria/Estevão
12	Associação Pró-Excepcionais KODOMO-NO-SONO	R.Prof.Hasegawa, 1198	6521-6437	Pedro Lousano
13	Ipanema Comavi Rações Ltda - Distribuidora	R.Prof.Hasegawa, 185	6944-6000/6944-0074 fax	Leonildo Matiussi
14	Panorama - Fundação de Metais Ltda	R.Prof.Hasegawa, 1128/1350	6521-0020	Ailton/Silmara
15	Incasse Ind. Mecânica de Equipamentos Ltda	R.Prof.Hasegawa, 499	6521-5011/6521-9426	José Nori/Edna
16	Clube dos Securitários	R.Ioneji Matsubayashi, 982	6944-3341/686-0112	Ricardo/Jorge
17	Sítio Santo Antônio	R.Prof.Hasegawa, 884		Luiz Mateus
18	Lousano Ind. de Condutores Elétricos Ltda	R.Ioneji Matsubayashi, 352	6521-5499 R.256/R.275	Raimundo/Norma
19	Obras Sociais Carlos Brunetti	R.Hirovo Kaminobo, 1061	205-6086	
20	Magstyro - Ind. e Com. de Plásticos Ltda	R.Agrimensor Sugaya, 804	6944-4409/6944-4421 fax	Flávia Cássia/Luiz
21	Plast Seven Indústria de Plásticos Ltda	R.Agrimensor Sugaya, 1608	686-0333	
22	Chácara do Paulo	R.Agrimensor Sugaya, 1637	6521-1161	Paulo
23	Bodoque - Ind. de Artefatos de Madeira	R.Prof.Hasegawa, 171	6944-8393	Nazaré
24	Proteija Ind. e Com. de Produtos Alimentícios Ltda	R.Prof.Hasegawa, 808	6521-8669	Getúlio/Marco Aurélio
25	Girus Industrial Ltda - Rodas Esportivas	R.Masato Misawa, 12	205-5036 R.215	Josimar
26	Nic - Clube	R.Masato Misawa, 200	6521-9460	José
27	RR Etiquetas	R.Masato Misawa, 430	6944-1000 R.214	Claudinei
28	Schincariol	R.Masato Misawa, 440	205-7274	
29	Pavimentadora e Construtora São Luiz S/A	R.Jaime Ribeiro Wright, 967	6944-1788	
30	Concretex	R.Jaime Ribeiro Wright, 1225	522-8033/936-6296 celular	Guará/Josenildo
31	Gimenez - Artefatos para Calçados Ltda	R.Chubei Takagashi, 550	6521-7279	Nélson/Antônio Gimenez
32	Imbrabor - Fábrica de Borracha	R.Hirovo Kaminobo, 1422	205-9433	Júlio
33	Construtora Conterplan	R.Hirovo Kaminobo, 2400	6944-2399	
34	Forusi - Material Sanitário	R.Guichi Yoshioka, 50	6944-9623	Arlete
35	Posto Salemco - Posto Pêssego	Av.Jacu-Pêssego, 2681	6944-7712	Rinaldo/Sérgio
36	Gazarra S/A - Indústria Metalúrgica	Av.Jacu-Pêssego, 2630	205-8955	
37	Rinaldi Equipamentos Industriais Ltda	R.Kera Nakamura, 1000	686-0144	
38	Frelimco Engenharia Ltda - Concreto	R.Zituo Karasawa, 42	6944-4857	Adílson
39	Fábrica de Blocos	R.Inácio Monteiro		
40	Vulcão S/A - Indústria Metalúrgica e Plástica	Av.Ragheb Chohfi, 4978	6731-3699 R.252	Claudemir
41	Auto Capas Abrigo Jacaré Ind. e Com. Ltda	Estrada dos Cunha, 60-A	682-0500	Maria/Jacaré
42	Resifer - Indústria de Resina	Av.Souza Ramos, 601	682-0488	Aparecido
43	Posto - Caminho do Mar	Estrada do Iguatemi, 7850		
44	Metalúrgica MF Ind. e Com. Ltda	Av.Souza Ramos, 437	6282-0066	Marcos
45	Metalúrgica Oriente S/A - Metais Sanitários	Av.Jacu-Pêssego, 3787	205-0088	Latorre
46	Notável - Indústria Metalúrgica	Av.Minas do Rio Verde, 740	6110-0194	Vasco
47	Perpal Ind. e Com. de Metais Ltda	Av.Jacu-Pêssego, 701	6944-6011/205-6016	

48	Fábrica de Blocos Barbosa	Av.Ragheb Chohfi, 6780		Sandra
49	Fábrica de Blocos Mato Grosso	Av.Ragheb Chohfi, 5940	6962-9497	João Ferreira/Durvalina
50	Expresso Urbano São Judas Tadeu	Av.Ragheb Chohfi, 6300	6115-1100	Airton
51	Fábrica de Blocos	Av.Ragheb Chohfi, 7450		
52	Depósito de Materiais Farol	Av.Ragheb Chohfi, 7613		Irene
53	Fábrica de Blocos Primavera	Av.Ragheb Chohfi, 7605	6731-3852	Délio
54	Plaza - Ind. e Com. de Móveis	R.loneji Matsubayashi, 1323	6521-2211	Elzio
55	Centro de Treinamentos de Excepcionais A.P.A.C.R.	R.loneji Matsubayashi, 1324	6521-6976	Nojima
56	Alcool Ferreira S/A	R.loneji Matsubayashi, 1034		Luiz Gonzaga
57	Boiler Equipamentos Industriais Ltda	R.Keichi Matsumoto, 95	6996-0122	
58	Chácara Nakasone	R.Keichi Matsumoto, 383	205-6300	Antônio/Jorge
59	Chácara Matsumoto	R.Keichi Matsumoto, 446		Matsumoto
60	Centro de Pesquisas de História Natural	R.Jaime Ribeiro Wright, 618		
61	Kossil Com. e Ind. Ltda	R.Jaime Ribeiro Wright, 265	6521-6416	Nilton
62	Chácara Estrela	R.Jaime Ribeiro Wright, 405	6521-3887	Rosa
63	Chácara Morita	R.Guichi Yoshioka, 303/325	6521-8629 escr/6521-8321 res.	Jorge Morita
64	Chácara Arakaki	R.Tomiochi Shimizu, 474	6521-1185	Gilberto Arakaki
65	NGA - Armazéns Gerais	R.Hirovo Kaminobo, 451	205-4057	José Roberto
66	Granja Kameoka	R.Hisaji Morita, 834	6521-7304	Kazuo Kameoka
67	Chácara Sol	R.Jaime Ribeiro Wright, 532	6521-3859	Patrício/Cristina
68	Churrascaria Aquarius	Av.Jacu-Pêssego, 1697/1685	6521-3710	Koite
69	Concreton	R.Zituo Karasawa, 181-A	205-3021	Sérgio
70	Sítio João Owa	R.Zituo Karasawa, 201	6521-3717	William
71	Granja de Codorna Nakamura	R.Tineciro Icibaci, 487	205-5111	Nelson Nakamura
72	Ema - Indústria de Produtos Químicos	R.Tineciro Icibaci, 1158	6521-9930/6521-6648	Ariovaldo
73	INDAB - Indústria Metalúrgica Ltda	R.Go Sugaya, 950	205-5144/205-5804/205-5293	Juvenal/Renata
74	Suljipor - Indústria Metalúrgica Ltda	R.Go Sugaya, 794	6944-2362/205-8941	Sérgio Ricardo
75	Industrate - Tratamento Térmico	R.Go Sugaya, 99		
76	SS Extintores	R.Marieta Lara de Faria, 99	6944-5246	
77	Moinho Romariz	Av.Jacu-Pêssego, 2891	686-0199 R.216	Lúcio
78	Double Fastener Componentes para Fixação Ltda	R.Guichi Shigueta, 02	6521-4031/3127/975-0273 cel.	Márcia Buzatto/José
79	Stil Multi Box - Materiais Elétricos	R.B, 40		
80	Armadilha - Artefatos de Couro	Estrada dos Monos, 244		
81	Grad Spray	R.Guichi Shigueta, 1000	69-1488	
82	Arrifana Industrial Import. e Export. de Alimentos Ltda	R.Tineciro Icibaci, 2337	6919-2657/6919-0701/6962-9844	Sônia G. Delben
83	Pavani Indústria de Cofres Ltda	Estrada do Aricanduva, 127	6966-6355/6919-0153	Valter
84	Residência	Estrada do Aricanduva, 367		Carla
85	Fábrica de Blocos do Edson	Estrada do Aricanduva, 688		Edson
86	Fábrica de Blocos Casa Nova	Av.Ragheb Chohfi, 5700		Lídia/Lina
87	Recauchutadora de Pneus Dinâmica	Estrada do Iguatemi, 600	682-0456	Manoel
88	Lajes e Blocos Tupã	Estrada do Iguatemi, 666	6964-8847	Joaquim
89	Ranchonete do Gaúcho	Estrada do Iguatemi, 1020		Neusa Maria
90	Hidrolete Produtos Termoplásticos Ltda	R.São Simão, 118	6919-8566	Maurício/Flores/Pinheiro
91	Metalúrgica BT	Trav. particular Santo Onório, 100	6964-8144	José Luiz
92	Rodoplast - Ind. e Com. de Sucatas Ltda	R.Santa Teresa, 402		
93	Colégio Cristão U.S.A	R.Santa Teresa, 128	682-1748	Márcia
94	Metalúrgica Gimenez	R.São Leopoldo, 08	6282-0044	Eliseo/Sandra
95	Rodoplast - Ind. e Com. de Sucatas Ltda	R.São Leopoldo, 204		Valter
96	Posto Salemcó - Auto Posto Serviço Passagem Funda	Estrada do Iguatemi, 2600		

97	Carbrink Carimbos e Brinquedos Ltda	Av.Souza Ramos, 25	682-0633	Geraldo
98	Posto Esso - Posto Arco Verde	R.Inácio Monteiro, 8828		
99	Ind. e Com. Reboque Safari - Indústria Metalúrgica	R. dos Cunha, 08		Hadail
100	Retífica Guaianazes	Av.Ragheb Chohfi, 9800	682-0065	Máximo
101	Supermix	Av.Ragheb Chohfi, 7357	6962-5770	Geraldo
102	Temper Sul - Têmpera de Aço Ltda	R.Zituo Karasawa, 20	996-3236	
103	Consult Com. e Ind. Ltda	R.Zituo Karasawa, 40	6944-9434	
104	ITA Metal - Indústria de Plástico	R.Kera Nakamura, 501	6944-9755	Creuza/Santogole
105	Chácara Tico-Tico	R.Tineciro Icibaci, 130	205-9235	Laércio
106	Nova Roclan Fundação Ltda	R.Tineciro Icibaci, 949	6521-1391/441-3943/9987-7455 cel.	Sebastião/Roberto
107	Recauchutadora de Pneus Imperial	R.Tineciro Icibaci, 1211	6919-6783/6919-6733	Valter
108	Santa Isabel Laminação S/A	R.Prof.Hasegawa, 299	6521-8017	Juciê
109	Viação Cidade Tiradentes	Estrada Santo Inácio, 74	6282-1122	Hélio
110	Elmar - Produtos Metalúrgicos	R.Luiz Mateus, 2477		
111	Pratêxtil	Estrada do Iguatemi, 2613	6555-8326	
112	Alumínio	Estrada do Iguatemi, 2270	9214-8841	Antônio
113	CÓVEG Construtora	R.Zituo Karasawa	7295-3233/(014)975-3648	Eduardo
114	BEC-MIX	Av.Jacu-Pêssego, 1999-A	6944-1358/6944-6880	Eliseo
115	Carrefour Pêssego	Av.Jacu-Pêssego, 1200	6179-1501	Adelmo
116	Eucervi Construtora Ltda	R.Agrimensor Sugaya, 731	205-6427/205-6541	Assis/Ezequias
118	Favela	Estrada do Iguatemi, 1155		Lourdes/Marisa
119	Pesqueiro Kondo	R.Hisaji Morita, 1526		Tetsuo Kondo
120	Empresa Betânia - Comércio de Produtos Químicos	Estrada do Iguatemi, 5836		
121	Fábrica de Plásticos São Sebastião	R.Santa Teresa		
122	Ind. e Com. Recuperadora de Alumínio Arpol Ltda	R. do Campo		
123	Hidraumec Centro Automotivo	Av.Ragheb Chohfi, 7231		Nena
124	Fábrica de Blocos Vargas	Av.Ragheb Chohfi,		Lina
125	Iguatemi Posto de Serviços Ltda	Av.Ragheb Chohfi, 4198		Agenor
126	Auto Posto Trevo do Pêssego Ltda	Av.Ragheb Chohfi,		

Av. = Avenida; Com. = Comércio; Export. = Exportadora; Import. = Importadora; Ind. = Indústria; Nº = Número; Prof. = Professor; R. = Rua; Trav. = Travessa.

ANEXO 3

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS E PONTOS D'ÁGUA

Tabela 1 - Principais características dos poços tubulares da área de estudo.

Nº Empresa	Nome da Empresa	Coordenadas UTM	Empresa Perfuradora	Ano Perfuração	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Vazão de Uso (m³/h)	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Cap. Específica (m³/h.m)	Condições Atuais do Poço	Manutenção	Prof.Topo da Rocha Sã (m)	Prof. Bomba (m)	Uso	Observações
1	Mamonan - Mármora Sintético do Brasil S/A	352845,7394016	Trinit	1985	170		1,20					em funcionamento	não			Uso geral	
4	Brinquedos Cardoso	353480,7393572	Jundsondas	1995	250							desativado	não	17,0			São poços secos.
4		353550,7393572	Jundsondas	1995	250							desativado	não				
9	Orfanato Casa do Cristo Redentor	353447,7393735	Comer	1974	255	254		4,70	4,00	147,00	0,032	em funcionamento		21,07			
9		353519,7393735	Comer	1975	200	254		4,90	2,00	120,00	0,041	em funcionamento		20,07			
10	Apolo - Indústria de Brinquedos	353858,7392642	T. Janner	1982	128		1,04		10,00?	28,00?		em funcionamento	sim	100,0			
13	Ipamea Comart Reções Ltda - Distribuidora	354351,7393048	Hidrotrônica Okamoto Ltda		60							em funcionamento	sim			Banheiro e lavar carros	Água amarelada, mas potável (análise química em 1997).
15	Incape Ind. Mecânica de Equipamentos Ltda	354092,7393496	Jundsondas	1988	200							desativado	não	30,0			O poço foi desativado porque a vazão é muito baixa (água seca).
16	Clube dos Securitários	353178,7393137	Hidrogesp	1995	>200							desativado	sim			Banheiros e vestiários	Está desativado devido a problemas com a bomba
20	Magstyro - Ind. e Com. de Plásticos Ltda	353195,7393668	Jundsondas	1998	350	317,50		1,18	12,00	218,00	0,005	desativado	não	11,5	240,0		Está desativado devido a problemas com a bomba
30	Concretex	353514,7392739		1983	80			2,00				em funcionamento	sim				
35	Posto Salento - Posto Pêssego	352700,7391811		1998	132		2,00?					em funcionamento	não			Lavar carros	
38	Gazeta S/A - Indústria Metalúrgica	352692,7391740	Rafael F. Politi	1990	184	254		3,77	10	80		desativado	não		130,0	Industrial/sanitário	A indústria está parada há um ano.
38	Freimco Engenharia Ltda - Concreto	352999,7391411	Hidrogesp	1995	206		1,25	6,00				em funcionamento	sim	60,0	80,0	Uso geral	
40	Viação S/A - Indústria Metalúrgica e Plástica	353331,7389741	Rodocruz	1989	170		9,00	6,00	24,00	66,00	0,060	em funcionamento	sim		90,0	Uso geral	
40		353259,7389762		1973	140							desativado	não				Está desativado devido a problemas com a bomba
45	Metalúrgica Oriente S/A - Metais Sanitários	352886,7390394		1978	140	203,20	1,20?	2,00	8,00	82,00	0,024	em funcionamento	sim	78,4		Uso geral, exceto para consumo	
50	Expresso Urbano São Judas Tadeu	354464,7389910	Geoplan	1995	98				55,00			desativado	não	98,0			
64	Sita Arakaki	353316,7391686	Sondamar	1997	182	311,15		2,5	61,30	139,50	0,018	em funcionamento	não	62,0		Só para irrigação de flores	
68	Chumascara Aquarius	352584,7392358	Tricill	1996	150							em funcionamento	não			Uso geral, inclusive para criação de peixes	
68		352491,7392358	Tricill	1996?	150							ainda não ativo	não				Não está ativo porque não tem bomba
71	Granja de Codomo Nakamura	354590,7391597	Jundsondas	1998	240	311,15	8,00	8,80	9,70	155,38	0,058	em funcionamento	não	41,0			
73	INDAB - Indústria Metalúrgica Ltda	354086,7391124	Tricill	1988	200		2,00					em funcionamento	não				
82	Amifana Industrial Import. e Export. de Alimentos Ltda	354081,7390521	Trinit	1991	140		0,62-0,83	3,50				em funcionamento	não	25,0		Uso geral, inclusive para consumo e fabricação dos produtos alimentícios	
90	Hidrolete Produtos Termoplásticos	355047,7391335		1985	120			1,50	40,00			em funcionamento	sim	60,0		Uso geral, inclusive para consumo	
101	Supermix	355162,7390172	Jet Sonda	1991			0,50					em funcionamento	não			Detagem de concreto	
107	Recuperação da Imperial	354815,7390955	Geopessunadora	1990	96		1,25					em funcionamento	não	30,0		Uso geral, inclusive para consumo	
109	Macão Cidade Tiradentes	355631,7392000	Jundsondas	1994	333	374,65		2,40	10,00	171,00	0,014	em funcionamento	sim	55,0	174,0	Limpeza	O poço possui filtro
113	COVEG Construtora	352886,7391437		1998								em funcionamento					
115	Carrefour Pêssego	352627,7392664	Hidrogesp	1997	244	250,82		1,87	8,50	129,98	0,013	em funcionamento (pouco uso)	não	42,0	182,07		Poço fica nos fundos da loja.
115		352388,7392664	Hidrogesp	1997	240							desativado	não				Poço fica na frente da loja. Foi desativado porque a vazão é muito baixa (quase seco).
119	Pesqueiro Rêodo	354597,7392014	Jundsondas	1997	204	311,15		15,70	10,12	112,23	0,139	em funcionamento		50,0	126,0		
127		355345,7393202										setado					

Cap. = Capacidade; Com. = Comércio; Export. = Exportadora; Import. = Importadora; Ind. = Indústria; Prof. = Profundidade

Tabela 2 - Principais características dos poços cacimbas e fontes da área de estudo.

Nº da Empresa	Nome da Empresa	Coordenadas UTM	Ano Perfuração	Prof. Cacimba (m)	Diâmetro (m)	Vazão de Uso (m³/h)	Nível Estático (m)	Condições Atuais do Poço	Manutenção	Bomba	Uso	Observações
2	Nelpe - Indústria Metalúrgica Ltda	353597,7393717						em funcionamento		sim	Limpeza e banho	
4	Brinquedos Cardoso	353483,7393500		10,00				em funcionamento				
4		353556,7393500		15,00				em funcionamento				
5	Planam	353578,7393209						em funcionamento				
6	Tecnotubo S/A - Indústria de Peças Tubulares	353008,7393316									Uso geral, exceto para consumo humano	
11	Chácara CDR	354261,7392721		8,28	1,10	0,25	6,53	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	Trata-se de uma fonte.
11		354243,7392760		5,20	1,10		3,74	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica dentro da casa de casero
11		354307,7392820		6,28	1,10		3,14	em funcionamento	sim	sim	Uso na fábrica de blocos.	O poço fica nos fundos de chácara.
11		354159,7392824		16,00				em funcionamento	sim	sim	Uso na fábrica de blocos.	O poço fica dentro de um cômodo fechado.
12	Associação Pró-Excepcionais KODOMO-NO-SONO	354244,7393138		2,60	1,00		1,08	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, principalmente em banheiros e lavanderia Também para beber.	O poço fica dentro da fábrica de blocos.
12		354304,7393096		3,80	1,20		2,55	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, principalmente em banheiros e lavanderia Também para beber.	O poço fica ao lado do prédio.
12		354200,7393084		5,80	1,20		4,40	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, principalmente em banheiros e lavanderia Também para beber.	O poço fica dentro de um cômodo fechado.
12		354257,7393042		4,70	2,80		0,70	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, principalmente em banheiros e lavanderia Também para beber.	O poço fica próximo do portão de entrada.
14	Panorama - Fundição de Metais Ltda	354351,7393159	1988	5,50				em funcionamento		sim	Só para irrigação	O poço fica nos fundos dentro de um cômodo fechado.
17	São Santo Antônio	354459,7393289						em funcionamento			Consumo humano.	
22	Chácara do Paulo	354000,7393958	1968	11,00	1,40	0,06	4,50	em funcionamento		sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	
24	Proteus Ind. e Com. de Produtos Alimentícios Ltda	354280,7393332	1947	8,40	2,25	1,25-1,80	8,15	em funcionamento	não	sim	Uso geral.	
24		354333,7393332	1963	8,40	1,10		5,00	em funcionamento		sim	Uso geral.	Não coloca nada na água, nem cloro. Água semelhante à mineral. Todos os poços, exceto o poço 1, foram lacrados com tampa de concreto.
24		354406,7393332	1963	8,40	1,10		5,00	em funcionamento		sim	Uso geral.	
24		354300,7393266	1963	8,40	1,10		5,00	em funcionamento		sim	Uso geral.	
24		354373,7393266	1963	8,40	1,10		5,00	em funcionamento		sim	Uso geral.	
25	Gins Industrial Ltda - Rodas Esportivas	352680,7393203	1967	30,00	1,56	0,21-0,42	4,78	em funcionamento	sim	sim	Uso geral e industrial	
25		352498,7393203	1995	20,00	1,00			em funcionamento	sim	sim	Uso geral e industrial	Os dois poços ficam um ao lado do outro distantes 1,05 m (são conectados).
26	Nic - Clube	352645,7393073	1955	6,10	1,60			em funcionamento		sim	Uso geral, inclusive para consumo humano (beber e cozinhar) Também colocam na piscina.	Poço dos fundos. Fica dentro de um cômodo fechado.
26		352645,7393146						desativado				Poço da frente. Fica dentro de um cômodo fechado.
31	Gimenez - Artefatos para Calçados Ltda	354500,7392618	+ antigo	8,86	0,80		7,20	em funcionamento	sim	sim	Atividades industriais.	Poço fica nos fundos.
31		354618,7392595	1997	32,20	0,80		29,80	em funcionamento	sim	sim	Consumo humano.	Poço fica na frente.
41	Auto Capas Abrigo Jacaré Ind. e Com. Ltda	355872,7392116	1985	18,00		0,08*	3,00	em funcionamento	sim	sim	Limpeza em geral e banheiros.	O poço fica na cozinha e é tampado pelo piso de azulejo.
41		355872,7392188		2,47	1,50		1,76	em funcionamento	sim	sim	Resfriamento de máquinas.	O poço fica na frente da edícula.
44	Metalúrgica MF Ind. e Com. Ltda	355937,7391623	1993	5,00	1,50		0,13	desativado	não	não		O poço está desativado devido problemas com a bomba.
48	Nôval - Indústria Metalúrgica	353670,7389130		12,00			10,00	desativado	não	não		O poço foi desativado porque não precisam mais dessa água.
48	Fábrica de Blocos Barbosa	354307,7389858		3,98	0,93		1,78	em funcionamento	sim	sim	Só para molhar blocos.	
49	Fábrica de Blocos Mato Grosso	354232,7389845	1989	4,58	0,95		3,38	em funcionamento	sim	sim	Uso geral.	
49		354160,7389832		2,89	0,90		2,35	em funcionamento	sim	sim		
51	Fábrica de Blocos	354782,7389950		5,29	1,99		3,21	em funcionamento		sim	Molhar blocos.	O poço fica bem próximo de avenida.
52	Depósito de Materiais Farol	354671,7390007	19787	7,44	0,85		6,70	em funcionamento		sim	Molhar blocos.	
52		354671,7390078		9,68	1,00		6,68	em funcionamento		sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica dentro da loja.
52		354671,7390147		3,70	0,80		1,17	em funcionamento		sim	Lavar caminhões.	O poço fica na fábrica de blocos ao lado da loja.
53	Fábrica de Blocos Primavera	354600,7389994	1997	8,85	1,00	0,21	9,27	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica nos fundos do terreno da loja, em local aterrado.
53		354526,7389985	+ antigo	8,00				desativado	sim	sim		O poço fica bem próximo da avenida.
54	Plaza - Ind. e Com. de Móveis	353352,7393188	1963	20,00				em funcionamento	não		Limpeza.	O poço foi desativado porque não precisam mais dessa água.
54		353423,7393188		20,00				em funcionamento			Consumo humano.	
55	Centro de Tratamentos de Excepcionais A.P.A.C.R.	353441,7393101		10,42	1,20	0,42 a 0,50	7,44	em funcionamento	sim	sim	Limpeza, consumo humano (beber e cozinhar) e criação de galinhas.	O poço fica nos fundos num cômodo coberto.
55		353493,7393152		11,85	1,00		10,25	em funcionamento	sim	sim	Limpeza, consumo humano (beber e cozinhar) e criação de galinhas.	O poço fica na frente num cômodo coberto.
55		353493,7393051	1998	6,75	1,00		5,35	desativado	não			O poço foi desativado porque estavam escavando encontraram a rocha.
56	Alcooi Ferreira S/A	353236,7393104										Trata-se de uma fonte.
58	Chácara Nakasone	352977,7392842	1953	4,40	1,20	0,42	2,12	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, irrigação, consumo humano, etc.	
58		353045,7392863										Trata-se de uma fonte.
59	Chácara Matsumoto	352908,7392815	1958	2,95	1,00		1,49	em funcionamento		sim	Limpeza	Trata-se de uma fonte.
61	Kossi Com. e Ind. Ltda	352703,7392440	1978	10,00				desativado				Não bebem água do poço porque tem coliformes fecais (análise química)
61		352671,7392425	1995	5,76	0,90	0,25	5,10	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	
62	Chácara Estrela	352758,7392499	1945	5,00	1,00		2,54	em funcionamento	não	sim	Uso doméstico, inclusive para consumo humano.	O poço fica no terreno da fazenda.
63	Chácara Monte	353750,7392561	1968	7,05	1,30		5,20	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica no meio da mata.
63		353780,7392491	1968	15,00			5,00	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica no meio da mata.
63		353683,7392404	1968	7,70	0,90		4,60	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica perto da casa.
63		353697,7392634									Hidroponia	Trata-se de uma fonte.
64	Chácara Arakaki	353385,7391687		29,68	1,05	0,02 a 0,04	22,80	em funcionamento		sim	Uso doméstico, inclusive para consumo humano.	O poço fica dentro de um cômodo fechado.
65	NCA - Armazéns Gerais	353255,7392182	1996					em funcionamento			Uso geral, exceto para consumo humano.	
66	Granja Kameoka	353962,7392188	1988	5,22	2,00	0,03	3,42	em funcionamento	não	sim	Limpeza, banho e cozinhar.	Análise química pela prefeitura (imprópria para consumo). O poço fica num vale no lado da drenagem.
66		354007,7392133										Trata-se de uma fonte.
67	Chácara Sol	353220,7392474	1958	4,88	1,50		2,80	em funcionamento	não	sim	Uso geral, irrigação de flores e consumo humano. Abasteca 4 famílias.	O poço fica nos fundos da chácara.
67		353049,7392500	1938	8,18	1,50		5,22	em funcionamento	não	sim	Uso geral, irrigação de flores e consumo humano. Abasteca 4 famílias.	O poço fica no meio da chácara.
67		353005,7392805	1995	8,42	1,20		3,97	em funcionamento	não	sim	Uso geral, irrigação de flores e consumo humano. Abasteca 4 famílias.	O poço fica na frente da edícula.
70	Sítio João Owa	353138,7391605	1979	3,81	0,92	0,83	1,40	em funcionamento (pouco uso)	não	sim	Irrigação.	
70		353076,7391643	1984	5,09	2,70		0,39	em funcionamento (pouco uso)	não	sim	Irrigação.	
71	Granja de Codomo Nakamura	354546,7391544	1988	23,20	1,00	0,28-0,29	20,40	em funcionamento	não	sim	Uso geral.	O poço fica dentro da casa.
72	Ena-Indústria de Produtos Químicos	354141,7391196	1978	13,25	1,50	0,12	3,65	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, exceto para consumo humano.	Os três poços ficam um ao lado do outro, dentro de um cômodo fechado. Os poços 2 e 3 são interligados.
72		354213,7391196	o + velho	8,25	0,80		3,30	em funcionamento	sim	não	Uso geral, exceto para consumo humano.	
72		354176,7391130	1978	10,54	1,70		3,85	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, exceto para consumo humano.	
74	Sutipor-Indústria Metalúrgica Ltda	353899,7390924						em funcionamento			Uso geral, inclusive para consumo humano. Nas máquinas para misturar com óleo.	
77	Moinho Romariz	352908,7390918						em funcionamento (pouco uso)				
78	Double Fastener Componentes para Fixação Ltda	352939,7390979		5,85	0,80		0,75	desativado	não	não		
83	Pavani Indústria de Cofres Ltda	353680,7390128	1960	22,43	0,90		13,80	em funcionamento		sim	Atividades industriais.	O poço nunca foi usado por esta indústria. É anterior a ela.
83		353768,7390115	1961	19,58	3,00		4,02	em funcionamento		sim	Atividades industriais (pintura) e para lavar carros.	O poço fica ao lado de um campo de futebol. Local bem alto.
84	Residência	354028,7390060	1984				4,00	desativado		não		O poço fica a 70-80 m do rio. É mais usado que o primeiro.
85	Fábrica de Blocos do Edson	354119,7390059		5,92	1,20		3,84	em funcionamento	não	sim	Molhar blocos.	Residência da Carla. O poço foi desativado porque secou.
85		354119,7390127		8,78	1,00		7,65	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica na frente.
86	Fábrica de Blocos Casa Nova	353857,7389911	1978	2,52	0,90		1,56	em funcionamento		sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica nos fundos (novo).
87	Recauchutadora de Pneus Dinâmica	355505,7392137	1968	10,00	1,00		5,30	em funcionamento	não	sim	Uso nas máquinas.	
87		355522,7392207	1995	5,43	1,99	0,21*	3,43	em funcionamento	não	sim	Uso nas máquinas.	O poço fica dentro da recauchutadora.
88	Lojas e Blocos Tupã	355433,7391940	1988	7,60	1,00		3,90	em funcionamento (pouco uso)	não	sim	Molhar blocos.	O poço fica no pé do muro com os pneus.
88		355445,7392009	1988	10,00				em funcionamento	não	sim	Molhar blocos.	O poço fica semi-aberto, por isso cai muita sujeira dentro dele.
89	Rancho do Gaúcho	356481,7392070	1988	6,00				em funcionamento	não	sim	Consumo humano.	O poço fica dentro de um cômodo fechado. Usa filtro porque a água é suja.
91	Metalúrgica BT	359174,7390784	1996	3,23	0,62	0,04	2,50	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	
91		359189,7390694		18,00			2,07	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	Fixa a 2 m do rio e é todo lavado (bem limpo).
94	Metalúrgica Gimenez	355361,7390987	1978	10,10	0,05	0,02*	16,85	desativado	não			O poço foi desativado porque só tem meio metro de água.
94		355287,7390987	1999	18,71	1,00		17,18	em funcionamento	sim	sim		Poço da frente.
95	Rodoplast - Ind. e Com. de Sucatas Ltda	355397,7390896	1997	11,85	1,20	0,06	8,57	em funcionamento	sim	sim	Limpeza (banho) e consumo humano.	Poço dos fundos.
97	Carbink Cacimbas e Brinquedos Ltda	355868,7393174		9,00				desativado	não	não		
98	Posto Esso - Posto Arco Verde	355556,7393292						em funcionamento (pouco uso)				
99	Ind. e Com. Reboque Safan - Indústria Metalúrgica	355813,7392116		4,09				em funcionamento	não		Uso geral, inclusive para consumo humano.	
100	Refilica Guanazares	355597,7392102	1987	6,22	0,80	0,04*	3,92	em funcionamento	sim	sim	Uso geral, inclusive para consumo humano.	
100		355597,7392173		7,30	1,00		5,38	em funcionamento			Uso geral, inclusive para consumo humano.	O poço fica dentro de um cômodo fechado.
104	ITA Metal - Indústria de Plástico	353841,7391457		8,83	1,00		2,85	em funcionamento		sim	Atividades industriais (máquinas)	O poço fica dentro da fábrica.
105	Chácara Tico-Tico	354323,7391307										Trata-se de uma fonte.
106	Nova Roclan Fundição Ltda	354677,7391229	1987	17,00				em funcionamento	sim		Uso geral, inclusive para consumo humano. Usa pouco na indústria.	
111	Pratéxil	355469,7393528		4,00				desativado	não	não		O poço foi desativado porque não precisam mais dessa água.
116	Eucery Construtora Ltda	359132,7394077	1978	8,50				em funcionamento				
117	Favela	355611,7392585		4,29	1,10		3,19	em funcionamento		não		
117		355441,7392581		3,70	1,10		3,22	em funcionamento		não		Poço mais próximo da avenida.
118	Favela	355577,7392694		2,98	1,05		1,84	em funcionamento		sim		
123	Hidraumec Centro Automotivo	354742,7390094	1959	3,47	1,10		1,26	em funcionamento		sim		Poço da casa número 1155 (Sítio Lourdes).
123		354742,7390020	1951	2,82	0,90		1,45	em funcionamento				A água desse poço é usada pela fábrica de blocos vizinha.
124	Fábrica de Blocos Vargas	353786,7389901	1977	4,77	0,85		2,69	em funcionamento	sim		Molhar blocos	O poço fica próximo da avenida.

Com = Comércio; Ind = Indústria; Prof = Profundidade

* vazão de uso só desse poço

ANEXO 4

RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS

Tabela 1 - Resultados das análises físico-químicas das amostras de água coletadas na 1ª fase (em mg.L⁻¹).

Número da Empresa	Empresas/Estabelecimentos	Número do Poço	Data da Coleta	Temperatura da Amostra (°C)	pH	Eh (V) (+)	Condutividade Elétrica a 25°C (µS/cm)	Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{total}	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cr _{total}	Al ³⁺	Ba ²⁺	Sr ²⁺	
limites de detecção																														
22	Chácara do Paulo	1	15/12/98	23.1	4,50	0,634														0,02	0,003	0,05	0,02	0,04	0,025	0,008	0,02	0,55	0,18	0,05
25	Girus Racing Industrial Ltda - Rodas Esportivas	1	15/12/98	24,3	5,23	0,589	321	5,35	6,527	0,360	20,760	n.d.	0,012	75,780	0,010	0,460	2,900	6,000	7,050	2,100	0,220	0,310	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,210	0,380	0,050
31	Gimenez - Artefatos para Calçados Ltda	1	15/12/98	22,1	5,30	0,575		10,70	13,054	0,001	10,800	0,060	0,020	28,390	0,030	0,590	5,600	2,900	6,450	1,600	0,030	0,030	1,490	n.d.	n.d.	0,040	n.d.	0,980	0,500	0,200
31	Gimenez - Artefatos para Calçados Ltda	2	15/12/98	21,6	6,28	0,535		37,48	45,725	n.d.	1,450	0,008	0,020	0,040	0,020	0,610	0,500	0,300	10,350	0,350	0,720	0,020	0,010	n.d.	n.d.	0,010	0,260	0,080	0,050	
40	Vulcão S/A - Indústria Metalúrgica	1	03/12/98					42,84	52,264	0,280	1,810	n.d.	0,020	0,040	0,012	6,770	12,200	2,900	6,450	3,000	2,070	0,140	n.d.	n.d.	0,010	0,030	n.d.	0,330	n.d.	0,100
41	Auto Capas Abrigo Jacaré Ind. e Com. Ltda	1	04/12/98				33	16,05	19,581	0,001	0,750	n.d.	0,005	2,170	0,100	0,200	1,200	0,300	3,800	0,150	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,050	n.d.	0,140	n.d.	0,060	
45	Metalúrgica Oriente S/A - Metais Sanitários	1	04/12/98				105	45,51	55,522	0,090	2,790	n.d.	0,015	0,060	0,030	6,550	7,300	2,400	4,000	4,450	0,120	0,020	0,010	n.d.	0,230	n.d.	0,100	n.d.	0,080	
63	Chácara Morita	1	16/12/98	24,9	5,30	0,557	22	2,67	3,257	0,002	1,600	n.d.	0,009	8,800	0,008	0,350	3,800	0,400	0,150	0,200	0,010	0,030	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,050	0,010	
63	Chácara Morita	2	16/12/98	25,7	5,30	0,577	56	5,35	6,527	0,004	3,790	0,002	0,007	20,400	0,009	0,530	11,600	0,300	0,100	0,100	0,080	0,380	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,100	0,060	0,010	
63	Chácara Morita	3	16/12/98	25,4	5,60	0,556	27	8,03	9,796	0,007	2,270	n.d.	0,016	4,370	0,030	0,990	1,500	0,900	0,900	0,700	n.d.	0,030	n.d.	n.d.	0,010	n.d.	0,260	0,060	0,030	
63	Chácara Morita	4	16/12/98	26,0	5,10	0,581	136	2,67	3,257	0,090	14,530	0,080	1,050	37,050	0,017	14,750	7,300	9,800	7,350	3,500	0,620	0,170	n.d.	n.d.	0,010	n.d.	0,700	0,250	0,040	
67	Chácara Sol	1	15/12/98	21,2	4,80	0,608				0,020	6,500	0,001	0,020	18,540	0,020	1,890	2,100	4,000	2,850	1,050	0,140	0,080	n.d.	0,010	n.d.	n.d.	n.d.	0,510	0,090	0,030
67	Chácara Sol	2	15/12/98	21,3	4,70	0,580				0,080	6,730	n.d.	0,020	22,500	0,020	9,980	2,100	5,300	3,950	1,750	n.d.	0,150	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,250	0,210	0,040
67	Chácara Sol	3	15/12/98	23,7	5,70	0,581		16,05	19,581	0,100	10,540	0,030	0,020	21,000	0,013	0,990	1,300	3,200	11,050	2,100	0,070	0,160	n.d.	n.d.	n.d.	0,020	n.d.	0,500	0,180	0,100
71	Granja de Codorna Nakamura	1	04/12/98					32,13	39,198	n.d.	3,390	n.d.	0,006	23,670	0,020	0,250	3,000	0,100	7,950	4,350	0,100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,030	n.d.	0,080	0,040	0,040
85	Fábrica de Blocos do Edson	1	03/12/98					80,32	97,990	0,017	14,500	0,050	0,017	12,610	0,010	2,030	11,200	4,500	25,050	7,350	0,340	0,080	n.d.	n.d.	n.d.	0,040	n.d.	0,510	0,100	0,180
85	Fábrica de Blocos do Edson	2	03/12/98					13,38	16,323	0,050	8,490	0,030	0,010	3,520	0,005	1,800	5,300	0,600	2,300	3,700	0,260	0,050	0,010	n.d.	0,040	n.d.	0,430	n.d.	0,040	
87	Recauchutadora de Pneus Dinâmica	1	04/12/98		5,82			24,08	29,377	n.d.	10,230	n.d.	0,400	0,100	0,022	14,510	6,200	0,700	12,050	5,000	16,480	0,320	0,010	n.d.	0,020	n.d.	0,930	0,060	0,080	
88	Lajes e Blocos Tupã	1	16/12/98	24,4	5,70	0,510	60	18,74	22,862	n.d.	5,350	n.d.	0,180	3,590	0,012	3,570	5,300	0,300	4,150	0,100	0,650	0,920	0,010	n.d.	0,020	n.d.	0,240	n.d.	0,050	
88	Lajes e Blocos Tupã	2	16/12/98	23,2	6,30	0,498	107	48,18	58,779	n.d.	3,070	n.d.	0,090	4,590	0,015	1,910	4,800	1,200	12,050	0,360	0,510	0,040	n.d.	n.d.	0,020	n.d.	0,690	n.d.	0,090	
91	Metalúrgica BT	1	03/12/98					16,05	19,581	0,005	2,880	0,020	0,020	1,340	0,050	0,860	2,300	0,500	3,150	0,350	0,180	0,180	n.d.	n.d.	0,040	n.d.	0,280	0,040	0,040	
95	Rodoplast - Ind. e Com. de Sucatas Ltda	1	04/12/98		5,42			8,03	9,796	0,002	13,290	n.d.	0,030	14,440	0,030	0,630	12,800	0,400	3,950	1,300	1,160	0,020	n.d.	n.d.	0,570	n.d.	0,290	0,060	0,060	
100	Retífica Gualanazes	1	04/12/98		6,03			37,48	45,725	0,130	1,440	n.d.	0,040	0,300	0,040	1,450	12,800	1,100	3,900	1,750	n.d.	0,010	n.d.	n.d.	0,010	n.d.	0,060	0,030	0,040	
109	Viação Cidade Tiradentes	1	04/12/98				90	18,74	22,862	0,003	10,520	n.d.	0,100	3,870	0,020	8,790	5,900	1,000	4,900	1,300	0,080	0,020	n.d.	0,010	0,030	n.d.	0,290	0,040	0,040	
117	Favela	1	16/12/98	22,0	5,70	0,587	80	10,70	13,054	0,040	10,110	n.d.	0,040	3,620	0,011	10,860	4,900	1,000	4,500	1,150	0,230	0,030	n.d.	n.d.	0,010	n.d.	0,090	n.d.	0,030	
117	Favela	2	16/12/98	22,4	5,50	0,545	69	5,35	6,527	0,002	5,110	n.d.	0,040	7,520	0,016	6,620	3,100	0,900	2,300	0,550	0,070	0,050	0,010	n.d.	0,010	n.d.	0,250	n.d.	0,030	
118	Favela	3	16/12/98	24,3	5,10	0,586	43																							

c/ = com.; Com. = Comércio; ind. = Indústria; n.d. = não detectado; p/ = para.

Observação: os elementos cádmio, prata e chumbo não constam da tabela porque não foram detectados em nenhuma das amostras.

cl = com; Com. = Comércio; ind. = indústria; n.d. = não detectado; pl = para.
Observação: os elementos cádmio, prata e chumbo não constam da tabela porque não foram detectados em nenhuma das amostras.

Tabela 2 - Resultados das análises físico-químicas das amostras de água coletadas na 2ª fase (em mg.L⁻¹).

Número da Empresa	Empresas/Estabelecimentos	Número do Poço	Data da Coleta	pH	Condutividade Elétrica a 25°C (µS/cm)	Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{total}	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cr _{total}	Al ³⁺	Ba ²⁺	Sr ²⁺
limites de detecção																								
63	Chácara Morita	1	19/08/99					0.080	1.480	0.007	12.900	0.080	0.160	4.300	0.400	3.500	0.300	0.05	0.02	0.008	0.02	0.55	0.18	0.05
67	Chácara Sol	2	01/09/99	4.90	80	13.38	16.323	0.160	5.800	0.014	23.360	0.024	11.570	2.200	4.900	4.550	2.050	n.d.	0.130	n.d.	n.d.	0.030	n.d.	n.d.
67	Chácara Sol	2	01/09/99	4.90	80	13.38	16.323	0.210	6.000	0.023	23.420	0.010	12.650	2.200	4.900	4.450	2.100	n.d.	0.130	0.010	0.010	0.500	0.060	0.030
71	Granja de Codorna Nakamura	1	03/09/99	6.25	130	40.15	48.983	0.006	4.290	0.017	38.470	0.050	0.180	3.800	0.200	10.800	5.550	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.040	n.d.	0.030
71	Granja de Codorna Nakamura	1	03/09/99	6.25	130	40.15	48.983	0.008	4.580	0.015	38.200	0.040	0.180	3.800	0.200	10.950	5.600	0.020	n.d.	n.d.	n.d.	0.030	n.d.	0.030
85	Fábrica de Blocos do Edson	1	01/09/99	6.86	270	120.48	146.985	0.080	14.950	0.037	8.160	0.024	5.540	11.600	12.200	60.800	2.650	0.400	0.090	0.020	n.d.	0.530	0.050	0.340
85	Fábrica de Blocos do Edson	1	01/09/99	6.86	270	120.48	146.985	0.070	14.920	0.027	8.070	0.013	5.450	11.600	12.200	70.500	2.700	0.520	0.090	0.030	n.d.	0.780	0.030	0.310
85	Fábrica de Blocos do Edson	2	01/09/99	5.78	100	16.05	19.581	0.022	11.300	0.020	11.460	0.036	2.420	8.800	1.100	3.250	3.200	0.080	0.060	n.d.	n.d.	0.030	n.d.	0.030
85	Fábrica de Blocos do Edson	2	01/09/99	5.78	100	16.05	19.581	0.020	10.690	0.020	10.640	0.060	2.680	7.900	1.000	3.200	3.200	0.040	0.060	0.010	0.010	n.d.	0.050	0.030
91	Metalúrgica BT	1	02/09/99	6.33	50	24.08	29.377	0.080	3.180	0.016	1.970	0.008	1.100	2.700	0.800	9.150	0.400	0.040	0.060	n.d.	0.010	0.040	n.d.	0.030
91	Metalúrgica BT	1	02/09/99	6.33	50	24.08	29.377	0.011	2.090	0.027	1.330	0.020	0.820	2.200	0.500	4.750	0.400	0.030	0.060	0.030	n.d.	n.d.	n.d.	0.030

n.d. = não detectado

n.d. = não detectado