UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Estudo Hidrogeológico de Terreno
Cristalino com Manto de Intemperismo
- Área Piloto de Atibaia (SP)**

Itabaraci Nazareno Cavalcante

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. A.C.Rebouças
Examinadores:	Dr. J.A.Teixeira
	Dr. J.M.B.Mendes

São Paulo
1990

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004745

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DE TERRENO
CRISTALINO COM MANTO DE INTEMPERISMO
- ÁREA PILOTO DE ATIBAIA (SP)

Itabaraci Nazareno Cavalcante

ORIENTADOR : Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração : Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo

- 1990 -

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE FOTOS

ABSTRACT

RESUMO

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 - Considerações Gerais	02
1.2 - Localização da área	02
1.3 - Objetivos	04
2 - METODOLOGIA DE TRABALHO	04
2.1 - Pesquisa Bibliográfica	04
2.2 - Interpretação Fotogeológica e Geologia de Campo ...	05
2.3 - Cadastro de Pontos d'Água	07
2.4 - Análises Químicas das Águas Subterrâneas	08
2.5 - Implantação de Piezômetros Multiníveis	09
3 - INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	17
3.1 - Aspectos Fisio-Climáticos	17
3.2 - Contexto Geológico	20
3.2.1 - Complexo Amparo	20
3.2.2 - Maciços Graníticos	22
3.2.3 - Coberturas Coluvionares	24
3.2.4 - Aluviões	24
3.2.5 - Feições Estruturais	25

3.2.5.1 - Estruturas Dúcteis	25
3.2.5.2 - Estruturas Rúpteis	28
3.3 - Hidrologia de Superfície	32
3.4 - Hidrogeologia	33
3.4.1 - Caracterização das Zonas Aquíferas	36
3.4.1.1 - Manto de Intemperismo	36
3.4.1.2 - Meio Fraturado	46
3.5 - Estimativa das Reservas Hídricas Subterrâneas	55
3.5.1 - Reservas Renováveis	57
3.5.2 - Reservas Permanentes	57
3.6 - Hidroquímica	59
3.6.1 - Composição e Classificação das Águas Subterrâneas	59
3.6.2 - Evolução da Composição Química	64
3.6.3 - Uso das Águas	75
4 - AVALIAÇÃO DAS OBRAS DE CAPTAÇÃO	82
4.1 - Estado Atual da Tecnologia no Setor	82
4.2 - Considerações e Recomendações	97
5 - PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE ESTUDO	106
6 - CONCLUSÕES	114
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

ANEXOS

01 - Características dos poços tubulares da região de Atibaia - SP

02 - Características dos poços escavados da região de Atibaia - SP

03 - Base Geológica e de Pontos d'Água

LISTA DE FIGURAS

01 - Mapa de localização da área de estudo	03
02 - Piezômetro multinível Nº 1. Local: Associação Beneficiente Nosso lar - Atibaia (SP)	10
03 - Piezômetro multinível Nº 2. Local: Sítio Dall'Anese - Atibaia (SP)	11
04 - Piezômetro multinível Nº 3. Local: Sítio Santinha - Atibaia (SP)	12
05 - Diagramas de frequência dos polos dos eixos das dobras $F_n + 1$ (Proj. Hem. Inf.) (MORALES et al, 1985)	27
06 - Diagrama de frequência dos polos dos eixos das dobras da foliação principal, área total (Proj. Hem. Inf.) (MORALES et al, 1985)	27
07 - Diagrama de roseta das direções de fraturas - Atibaia (SP)	30
08 - Diagrama de frequência dos polos das atitudes de fraturas (Proj. Hem. Inf.) - Atibaia (SP)	30
09 - Diagrama de frequência dos polos das atitudes de fraturas (Proj. Hem. Inf.) - Atibaia (SP): a) Granito Socorro; b) Complexo Amparo	31
10 - Localização da área estudada em relação as sub-bacias hidrográficas	34
11 - Potenciais de águas subterrâneas no Brasil (REBOUÇAS, 1988)	37
12 - Distribuição de frequência das espessuras do manto de alteração	39

13 - Distribuição de frequência das espessuras saturadas ...	40
14 - Distribuição de frequência dos níveis d'água dos poços: a) Tubulares; b) Escavados	44
15 - Distribuição de frequência das vazões dos poços tubulares	47
16 - Relação entre vazão e profundidade dos poços tubulares - Atibaia (SP)	48
17 - Frequência das profundidades das entradas d'água na região de atibaia (SP)	49
18 - Relação entre altitude da região e entradas d'água - Atibaia (SP)	51
19 - Probabilidade logarítimo normal da capacidade específica dos poços tubulares da região de Atibaia (SP)	52
20 - Relação entre vazão do poço e altitude local - Região de Atibaia (SP)	53
21 - Distribuição de frequência das medidas de condutividade elétrica específica "in situ" das águas subterrâneas: a) Poços tubulares; b) Poços escavados	61
22 - Distribuição de frequência das medidas de pH "in situ" das águas subterrâneas: a) Poços tubulares; b) Poços escavados	65
23 - Diagrama triangular das águas subterrâneas da região de Atibaia (SP)	66
24 - Fatores que influem na evolução química das águas subterrâneas (CRUZ, 1985)	67

25 - Diagrama de estabilidade do sistema CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O à 25°C e 1 atm	76
26 - Distribuição de frequência das profundidades dos poços escavados - Atibaia (SP)	84
27 - Distribuição de frequência das alturas das colunas d'água dos poços escavados - Atibaia (SP)	84
28 - Evolução temporal da perfuração de poços tubulares na região	86
29 - Distribuição de frequência das profundidades dos poços tubulares	95
30 - Situações encontradas na perfuração de um poço no contexto cristalino (DUARTE, 1985)	109

LISTA DE TABELAS

01 - Medidas do nível estático dos piezômetros multiníveis e poços tubulares monitorados - Atibaia (SP)	18
02 - Características dos poços tubulares monitorados e dos piezômetros multiníveis	43
03 - Análises físico-químicas (elementos maiores e CO ₂ Livre) - Atibaia (SP)	60
04 - Análises químicas de silício e elementos - traço das águas subterrâneas de Atibaia (SP)	63
05 - Análises químicas de rochas da região de Atibaia (SP) - Óxidos e elementos menores (extraída de MORALES et al, 1985)	70
06 - Série de estabilidade dos minerais primários formadores de rochas, determinada por GOLDICH, 1938 (MELLO, 1975) .	72
07 - Valores utilizados no diagrama de estabilidade do sistema CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ e H ₂ O a 25º e 1 atm	77
08 - Situação atual dos poços tubulares - Atibaia (SP)	85
09 - Utilização das águas subterrâneas na região de Atibaia (SP)	87
10 - Firmas de perfuração de poços tubulares na região de Atibaia (SP)	88
11 - Métodos de perfuração de poços tubulares utilizados na região de Atibaia (SP)	89
12 - Número de diâmetros utilizados na perfuração de poços tubulares - Atibaia (SP)	90

VIII

13 - Diâmetros utilizados na perfuração de poços tubulares na região de Atibaia (SP)	91
14 - Diâmetros de revestimento dos poços tubulares - Atibaia (SP)	93

LISTA DE QUADROS

01 - Médias multi-anuais do balanço hídrico	35
02 - Características dos agrotóxicos utilizados na região de Atibaia (SP)	79

LISTA DE FOTOS

- FOTO 01 - Perfuração com sonda rotativa, Modelo SS-21 SONDEQ. Observa-se também, um poço tubular sem a laje de proteção. Local: Associação Beneficiente Nosso Lar - Atibaia (SP) 14
- FOTO 02 - Colocação do piezômetro multinível. Local: Sítio Santinha - Atibaia (SP) 15
- FOTO 03 - Tubo externo de PVC (6") e tampa de proteção do piezômetro multinível. Local: Sítio Dall'Anese - Atibaia (SP) 16
- FOTO 04 - Perfil de alteração do Complexo Amparo (espessura média de 20 m). Local: Rodovia Fernão Dias (BR-381), trecho Atibaia - Bragança Paulista (SP) 41
- FOTO 05 - Poço tubular abandonado, sem nenhum sistema de proteção, com profundidade de 180 metros e vazão de 0,3 m³/h. Local: loteamento Santa Maria - Atibaia (SP) 105

ABSTRACT

This paper resulted from hydrogeological investigation developed on crystalline terrain with weathering cover in the Atibaia area, southeastern São Paulo State. The goal was to determine occurrence conditions of ground-water, to evaluate captation worles, and to propose a method of study for that hydrogeological environment.

The work started by bibliographic research, followed by photointerpretation and field geology. A catalog of 79 tubular wells, 157 excavated wells, and 12 springs was organized, including measurements of pH, electric conductivity and static levels. Water samples were collected in 19 sources and had their physical - chemical quality analised. Also three mutilevel piezometers were implanted.

The region is mainly composed by the Amparo Gneissic - Migmatic Complex (55,5 %), and by the granites of Socorro (23 %) and Atibaia (9 %), alluvium (7,8 %), and colluvium. Three folding phases are present ($F_n + 1$, $F_n + 2$ and $F_n + 3$), showing synforms and antiforms. Fraturing is intensive, with The Extrema Fault cutting the area along SW-NE.

Two aquifer zones were defined: regolith and fractured rock. The first covers the rock with thicknesses ranging from 20 to 40m and reaching a maximum of 60 m. Static levels in dug wells vary from 0,4 to 9 m, and yelds average 0,9 m^3/h , with specific capacity of 0,225 $(m^3/h)/m$.

Tubular wells show yelds dominantly under 10 m^3/h (90 %), with average specific capacity of $6 \times 10^{-2} (m^3/h)m$.

Waters from dug wells are calcic bicarbonatic, but in tubular wells are mixed, sodic or calcic.

XII

In general there have not been technical criteria for location, drilling, and completion of wells. There is negligency with abandoned or desactivated captations, posing a potential risk of pollution of ground-water.

RESUMO

Este trabalho mostra a pesquisa hidrogeológica desenvolvida em terreno cristalino com manto de intemperismo, na área piloto de Atibaia a sudeste do Estado de São Paulo, tendo por objetivo caracterizar as condições de ocorrência das águas subterrâneas, avaliar as obras de captação e propor metodologia de estudo hidrogeológico para este meio.

A metodologia de trabalho constou, basicamente, da pesquisa bibliográfica, interpretação fotogeológica e geologia de campo com cadastro de 79 poços tubulares, 157 poços escavados e 12 fontes, com medidas de pH, condutividade elétrica, nível estático, coleta de 19 amostras d'água para análises físico-químicas e implantação de três piezômetros multiníveis.

A região é composta predominantemente pelo Complexo Gnaíssico-Migmatítico de Amparo (55,5 %), maciços graníticos de Socorro (23 %) e Atibaia (9 %), aluviões (7,8 %) e coberturas coluvionares (3,9 %). Possui três fases de dobramentos ($F_n + 1$, $F_n + 2$ e $F_n + 3$) com sinformes e antiformes, e é bastante fraturada, com a principal falha seccionando a área de SW para NE, constituindo o prolongamento da falha de Extrema.

Foram definidas duas zonas aquíferas: manto de intemperismo e meio fraturado. O manto de intemperismo recobre a área, com espessuras predominando no intervalo de 20 - 40 m, alcançando até 60 metros. O nível estático das cacimbas é de 0,4 a 9,0 metros (81 %), vazão média de 0,9 m³/h e capacidade específica de 0,225 (m³/h)/m.

Os poços tubulares possuem vazão predominantemente abaixo de 10 m³/h (90 %) e a capacidade específica média é de 6×10^{-2} (m³/h)/m.

As águas dos poços escavados são bicarbonatadas cálcicas e as dos tubulares são mistas, passando para sódicas e cálcicas.

No geral não existe critério técnico para locação, perfuração e completação dos poços. A não aplicação das normas é visível em quase todos os casos, existindo negligência quanto aos poços desativados e abandonados, causando um risco potencial de poluição às águas subterrâneas.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Gerson e Dolores, por todo
carinho e ensinamento de vida.

A minha esposa Zilar (Benice) que sempre
me acompanhou com sua ternura e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o auxílio inestimável de pessoas e entidades, às quais o autor gostaria de expressar sua sincera gratidão.

Ao Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças, Diretor do Centro de Pesquisas de Águas subterrâneas - CEPAS/IGUSP, pela orientação e amizade em todos os momentos do curso, além do constante incentivo ao desenvolvimento da pesquisa.

Aos Professores Dr. Uriel Duarte, Dr. José Milton Benetti Mendes e Dr. Alberto Pacheco do Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada/IGUSP, pelo apoio e disposição para discussões pertinentes ao tema abordado na Dissertação.

Aos Pós-Graduandos do Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada/IGUSP, Teodoro Isnard de Almeida, Sueli Yoshinaga, Maria Amélia de S. Menezes, Mara A. Iritani, João Raimundo de Araújo e Seiju Hassuda, pela amizade e solidariedade em todas as etapas do curso.

Aos amigos Antônio Camargo, Lourdes e Walter C. Leite do CEPAS/USP, que sempre foram de uma presteza inestimável durante o curso e no decorrer de todo o trabalho desenvolvido.

Em particular, ao Sr. Antônio Alves da Silva, técnico especializado do CEPAS/USP, que acompanhou-me com sua experiência durante todas as fases de campo, inúmeras vezes tendo que abdicar da companhia de seus familiares para ir ao campo.

Ao Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada por permitir a utilização da infra-estrutura departamental.

A Universidade Federal do Ceará, especialmente ao Departamento de Geologia, por ter permitido meu afastamento para cursar a Pós-Graduação.

A todos os colegas e amigos professores do Departamento de Geologia/UFC, nas pessoas dos Professores Ariston Cajaty, José Márcio Lins Marinho, Eva Batista Caldas, Joaquim Raul F. Torquato e Luiz Bianchi, pelo apoio e disposição para discussões concernentes a assuntos específicos do tema abordado na Dissertação.

A Profa. Dra. Marlúcia F. Santiago, pelo apoio e incentivo durante a fase de redação da Dissertação e pelo precioso tempo concedido as discussões, especialmente ao capítulo de hidroquímica.

Ao Sr. Geraldo Figueiredo, Da. Neide Figueiredo e família, que carinhosamente souberam conviver comigo durante o tempo integral de minha permanência em São Paulo.

A todos os amigos que nas horas de saudade sempre estiveram ao meu lado, especialmente Wanda Almeida da Silva, Vânia Almeida da Silva e Talma, amigas que nunca se cansaram de incentivar-me ao término deste trabalho.

Ao estagiário Reginaldo Antônio Bertolo - IGUSP, pela ajuda no âmbito de geologia estrutural aplicada à hidrogeologia e à pesquisa bibliográfica.

Ao digitador e operador Francisco Cleiton de Sousa, pelo dedicado auxílio na digitação e organização do texto final.

As empresas particulares de perfuração de poços que atuam na região (Jundsondas, Saiãgua e Supersondas) que permitiram a utilização de seus arquivos, sem os quais o trabalho seria, certamente, muito mais prolongado.

Aos diversos órgãos e entidades que contribuíram através de infra-estrutura e financiamento para o desenvolvimento deste trabalho, como o Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS/USP, Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

1 - INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento populacional e industrial, a demanda de recursos hídricos tornou-se cada vez maior e as águas subterrâneas ganharam destaque em virtude das características qualitativas e da localização em relação a demanda, minimizando os custos com tratamento e adução.

Apesar de grande parte do Estado de São Paulo estar situado sobre a Bacia do Paraná, cuja vocação hidrogeológica permite obter-se vazões de até 1.000 m³/h/poço, a 5a. Região Administrativa - CAMPINAS está totalmente inserida sobre o contexto cristalino com manto de intemperismo, onde as vazões oscilam de 5 a 20 m³/h, em média.

A pesquisa hidrogeológica torna-se imprescindível e, na medida em que ela é desenvolvida, definindo as zonas aquíferas e buscando o local mais propício à perfuração do poço, a probabilidade de obter-se boa vazão aumenta significativamente.

Este trabalho mostra a metodologia aplicada ao estudo hidrogeológico de rochas precambrianas com manto de intemperismo em uma área piloto contida na 5a. Região Administrativa, buscando caracterizar as condições de ocorrência das águas subterrâneas e avaliar as obras de captação.

A pesquisa está vinculada ao Projeto "Hidrogeologia de Rochas Fraturadas Precambrianas no Estado de São Paulo", realizada no Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS/USP, sendo financiada pelo FINEP/PADCT, através do Processo nº 42.86.049200.

1.1 - Considerações Gerais

O domínio hidrogeológico cristalino representa cerca de 58 % do território nacional. Observa-se que, dos 5.340.000 km² de rochas ígneas e metamórficas aflorantes, aproximadamente 85 % possuem manto de intemperismo que chega a ter 150 metros de espessura (CAVALCANTE & REBOUÇAS, 1989) e, neste caso, as falhas e/ou fraturas podem constituir prolongamentos em profundidade do aquífero que este manto representa.

A pesquisa hidrogeológica no Brasil, dentro do contexto de rochas cristalinas pré-cambrianas, desenvolveu-se a partir de 1960 quando iniciaram-se os primeiros trabalhos técnicos no semi-árido do Nordeste através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, buscando suprir a crescente necessidade de água na região. O pré-cambriano com manto de intemperismo é predominante nas regiões centro-sul, sul e sudeste do Brasil, onde as condições climáticas favorecem a ação do intemperismo químico, propiciando o desenvolvimento do perfil de alteração porém este contexto ainda é pouco estudado hidrogeologicamente, destacando-se o Relatório do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (1981) e BERTACHINI (1987).

As vazões médias dos poços nos aquíferos fraturados são da ordem de 3 m³/h, com máximo em torno de 10 m³/h, pequenas, no geral, quando comparadas com as obtidas em regiões onde o manto de alteração é significativo, as quais oscilam em média entre 10 e 20 m³/h, alcançando valores de até 70 m³/h.

1.2 - Localização da Área

A área piloto escolhida para estudo abrange 590,4 km² e está situada na bacia hidrográfica do rio Atibaia, Folha SF.23.C.III-2/MI 2767-2. ATIBAIA, escala 1:50.000, IBGE/EMPLASA (1984), a sudeste do Estado de São Paulo e é delimitada pelas coordenadas geográficas de 23º00' a 23º15' de Latitude Sul e 46º30' a 46º45' de Longitude Oeste (Figura 01). O acesso é direto

Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo

através da Rodovia Fernão Dias (BR-381) ou, indiretamente, pela Rodovia D. Pedro I (SP-065).

A razão desta escolha está baseada no fato desta área preencher as características exigidas para o estudo no que diz respeito aos aspectos morfo-estruturais, litológicos, distribuição dos pontos d'água e existência de manto de intemperismo.

1.3 - Objetivos

O presente trabalho tem os seguintes objetivos técnico-científicos:

- a) Caracterizar as condições de ocorrência das águas subterrâneas na área piloto;
- b) Avaliar os critérios de locação, perfuração, completação e desenvolvimento das obras de captação, e;
- c) Desenvolver e propor metodologia de estudo hidrogeológico adequada à prospecção de zonas aquíferas no domínio de rochas cristalinas com manto de intemperismo.

2 - METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia utilizada constou das seguintes etapas:

2.1 - Pesquisa Bibliográfica

O levantamento bibliográfico teve por objetivo coletar dados sobre os aspectos sócio-econômicos, fisio-climáticos, geológicos e hidrogeológicos da região.

Esta etapa resultou em um grande acervo de títulos e mapas, geológicos e plani-altimétricos na escala 1:50.000, que

serviram de base para o estudo. Ressalta-se que o entendimento e uso deste levantamento gerou um conhecimento generalizado das características da área estudada.

Dentre os trabalhos a nível regional, destaca-se EBERT (1968) que definiu o Grupo Amparo no domínio do Bloco Jundiá e SCHOBENHAUS FILHO (1981) que propôs a designação de Complexo Amparo em face da existência de núcleos rochosos ainda não caracterizados dentro do Amparo; WERNICK et al (op. cit.), CAVALCANTE et al (1979), HAMA et al (1979), ARTUR (1980) e WERNICK et al (1981) trabalharam com datações radiométricas no âmbito do Amparo e dos maciços graníticos do Bloco Jundiá.

Localmente, ressalta-se os trabalhos de CARVALHO et al (1975) que fizeram o levantamento pedológico semi-detalhado do município de Atibaia, OLIVEIRA et al (1985) e MORALES et al (1985) com estudos geológicos da Quadrícula de Atibaia, escala 1:50.000.

Pertinente a hidrogeologia, vale salientar o trabalho a nível regional do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (1981) que fez o estudo hidrogeológico da 5ª Região Administrativa do Estado de São Paulo - CAMPINAS, na qual está inserida a área ora pesquisada, e BERTACHINI (1987) que estudou em detalhe a região de Jundiá, relacionando as características aquíferas aos aspectos geológico-estruturais, geomorfológicos e fisio-climáticos.

2.2 - Interpretação Fotogeológica e Geologia de Campo

O uso de fotografia aérea é uma prática já consagrada em estudos hidrogeológicos e quando utilizada para pesquisa em terrenos cristalinos busca, especificamente, mapear as estruturas mais favoráveis a ocorrência de água subterrânea. Isto está associado a premissa de que no domínio das rochas cristalinas, as zonas de fraturas, contatos entre corpos rochosos e outras formas

de descontinuidades, ampliam sensivelmente as condições de permeabilidade primária.

Em um domínio de rochas cristalinas com manto de alteração o trabalho de foto-interpretação é dificultado, pois este manto mascara as estruturas mas, por outro lado, isto é promissor, pois ele poderá funcionar como aquífero principal ou de transferência.

O trabalho foi realizado com fotografias aéreas nas escalas de 1:25.000 e 1:60.000, buscando mapear as falhas e fraturas existentes e relacioná-las aos aspectos litológicos, geomorfológicos e drenagem superficial.

Desta fase resultou a base geológica na escala 1:50.000. A seguir se procedeu um controle de campo dos elementos interpretados e coleta de dados específicos sobre os pontos d'água.

Foi realizada uma fase de campo que teve por objetivo fazer o controle dos aspectos geológicos e levantar, especificamente, medidas de atitudes de fraturas. Elas foram tomadas em diferentes afloramentos e sempre observando, desde que possível, se eram abertas ou fechadas, preenchidas e, neste caso, qual a composição do preenchimento.

Estas medidas complementaram o mapa foto-interpretado e serviram para a elaboração de diagramas estruturais que foram interpretados sob o ponto de vista do contexto tectônico geral e por unidade litológica, possibilitando uma melhor compreensão da tectônica rúptil que atuou na região.

Em tese, o fraturamento facilita a ação do intemperismo pois possibilita uma maior percolação da água através dos planos de cisalhamento e produz, conseqüentemente, um aumento da superfície específica do contato água/rocha que é responsável direta pelo aumento substancial das espessuras de rochas alteradas.

O mapa de fraturas é importante na interpretação dos perfis de alteração, desde que seja correlacionado aos mapas litológico e de drenagem superficial. Ainda, quando superposto ao mapa de drenagem permitirá dizer até que ponto existe uma superimposição dela ao fraturamento, condição vantajosa para a recarga direta das zonas aquíferas.

2.3 - Cadastro de Pontos d'Água

Este cadastro compreendeu o levantamento e localização de poços tubulares, cacimbas e fontes.

O cadastramento de poços tubulares teve por finalidade obter dados técnicos da obra, características hidrodinâmicas das formações aquíferas exploradas, perfil litológico e acompanhamento do quadro evolutivo das perfurações na região.

Este trabalho foi realizado à partir do Relatório do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), 1981, versando sobre a 5a. Região Administrativa do Estado de São Paulo (CAMPINAS), que forneceu uma visão da distribuição espacial dos 62 poços existentes até 1980.

A seguir, foram obtidas as fichas técnicas dos poços junto a companhias perfuradoras que operam na região, a exemplo da JUNDSONDAS, SAIÁGUA e SUPERSONDAS, resultando em um acervo de 79 fichas de poços tubulares perfurados na área até 1989.

Foram realizadas etapas de campo para localizar pontos d'água, realizar medidas de nível estático, pH e condutividade elétrica da água e obter informações sobre os usos e proteção das águas subterrâneas.

O conhecimento hidrogeológico foi complementado com um cadastro de poços escavados (cacimbas) que exploram essencialmente o manto de intemperismo. Atualmente os poços

escavados abastecem, a nível de pequena demanda, quase toda a população rural dos municípios de Atibaia e Jarinu.

Ao fim, foram cadastrados 79 poços tubulares, 157 poços escavados e 12 fontes. Todas estas informações foram colocadas no mapa geológico culminando com a elaboração de uma base geológica e de pontos d'água (Anexo 03).

As medidas de nível estático foram efetuadas com um medidor eletro-sonoro; para o pH e condutividade utilizou-se um pHâmetro modelo DIGIMED DMPH-P e condutivímetro CD-2P, ambos portáteis e com leitura digital.

Nem sempre foi possível efetuar a medida do nível estático dos poços tubulares, devido ao fato destes estarem, na maioria das vezes, totalmente lacrados impossibilitando qualquer medição.

2.4 - Análises Químicas das Águas Subterrâneas

As análises químicas das águas subterrâneas tiveram por objetivo uma caracterização hidroquímica básica e, principalmente, verificar a existência de relação entre as águas do manto de intemperismo e meio fraturado.

O critério utilizado na seleção dos poços amostrados baseou-se nos valores de pH, condutividade elétrica e nível estático associados a litologia, fraturamento, drenagem e área de descarga/recarga.

Esta associação de fatores permitiu uma melhor compreensão quanto a variação da composição iônica pois, fatores como composição mineralógica, maior ou menor velocidade de fluxo, relação com águas superficiais, dentre outros, podem influir na concentração iônica das águas subterrâneas.

As amostras de águas foram coletadas das torneiras, de saídas diretas do sistema de bombeamento, ou com o auxílio de um amostrador manual. As análises de campo compreenderam a determinação de pH, condutividade elétrica específica, bicarbonato e CO_2 livre.

As amostras eram acondicionadas em garrafas plásticas de um litro, hermeticamente fechadas, rotuladas e conservadas no gelo. As análises foram realizadas nos Laboratórios do CENA/Piracicaba e CEPAS/USP. Ao todo foram analisadas 19 amostras, sendo 11 de águas dos poços tubulares e 8 dos poços escavados.

2.5 - Implantação de Piezômetros Multiníveis

Uma primeira análise das medidas de pH, condutividade elétrica e nível estático mostrou que em muitos casos existe uma estreita relação entre as águas do manto de intemperismo e meio fraturado.

Partindo-se do princípio de que pode existir fluxo das águas do manto para o fraturado, é lógico se pensar que o nível estático de um poço sofrerá reflexo de um bombeamento realizado em um poço tubular, desde que este esteja situado a uma distância que permita a interferência.

Procurando verificar o grau de transferência d'água do manto de intemperismo para o meio fraturado e, se possível, qual o nível litológico alterado que mais contribui, foi que se procedeu a implantação de 3 piezômetros multiníveis.

Cada piezômetro foi instalado próximo a um poço tubular (Figuras 02, 03 e 04). O critério de escolha desses poços se baseou no perfil litológico, fraturamento, morfologia e facilidade de acesso do maquinário de perfuração ao ponto escolhido.

Figura 02 - Piezômetro multinível N° 1
Local: Associação Beneficente Nosso Lar
Atibaia (SP)

Figura 03 - Piezômetro multinível Nº 2
Local: Sítio Dall'Anese
Atibaia (SP)

Figura 04 - Piezômetro multinível N° 3
Local: Sítio Santinha
Atibaia (SP)

O roteiro metodológico de perfuração e instalação dos piezômetros pode ser sumarizado da seguinte forma:

- a) Perfuração com trado mecânico até alcançar o nível d'água. As amostras de rochas foram descritas e acondicionadas em sacos plásticos, lacrados e rotulados;
- b) Perfuração com sonda rotativa, modelo SS-21 SONDEQ (Foto 01), de um furo com diâmetro de 4" até o contato com a rocha sã. A amostragem seguiu o procedimento anterior;
- c) Lavagem do furo a fim de retirar o máximo de detritos do interior do revestimento;
- d) Colocação do piezômetro multinível, sendo a montagem do sistema feita externamente (Foto 02); cada tubo de PVC era ranhurado, à partir da base, em uma extensão de um metro. As ranhuras eram descontínuas com espaçamento de 1,5 a 2,0 cm, perpendiculares ao comprimento do tubo e com aberturas de aproximadamente 1,5 mm. Cada tubo do piezômetro destinava-se a monitorar um nível alterado;
- e) Retirada do revestimento e preenchimento do espaço vazio com areia grossa, essencialmente quartzosa, servindo de pré-filtro;
- f) Proteção do piezômetro com tubo PVC e cap's de 6" (Foto 03) e, por último;
- g) Proteção do sistema com sêlo de cimento.

Na confecção dos piezômetros foi utilizado o seguinte material:

- Tubo plástico rígido PVC de 3/4", ponta e bolsa.

FOTO 01 - Perfuração com sonda rotativa, Modelo SS-21 SONDEQ. Observa-se também, um poço tubular sem a laje de proteção.

LOCAL - Associação Beneficiente Nosso Lar - Atibaia (SP).

FOTO 02 - Colocação do piezômetro multinível.

LOCAL - Sítio Santinha - Atibaia (SP).

FOTO 03 - Tubo externo de PVC (6") e tampa de proteção do piezômetro multinível.

LOCAL - Sítio Dall'Anese - Atibaia (SP).

- Cap's de proteção de 3/4'', inferior e superior. A primeira foi colada e a segunda foi encaixada, permitindo sua retirada para medição do nível estático.
- Sêlo de bentonita para isolar os diferentes níveis alterados.
- Tela de nylon, servindo como envoltório das ranhuras e protegendo as mesmas contra a migração de partículas. Evita-se, assim, o entupimento das ranhuras.
- Tubo de PVC de 6'' e respectiva cap's de proteção superior, resguardando a obra contra usos inadequados. A cap's foi somente embutida, podendo ser retirada para se medir o nível estático.
- Os tubos eram unidos com fio de nylon e concentravam-se, desta forma, em um só ''feixe''.

Após a instalação de cada piezômetro, eram realizadas medidas do nível estático utilizando-se um medidor de nível manual e eletro-sonoro. Inicialmente eram realizadas medidas sem interferência de bombeamento e depois, com o sistema de bombeamento ligado foram efetuadas medidas a intervalos de tempo pré-determinados até a estabilização do nível estático. Os dados relativos as medidas realizadas estão na tabela 01.

3 - INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

3.1 - Aspectos Fisio-Climáticos

A região situa-se em um contexto serrano denominado de Planalto Atlântico, com altitudes mais frequentes entre 700 e 1.000 metros. Três tipos geomorfológicos são distinguidos: relevos montanhosos, de morros e de agradação.

PIEZÔMETRO Nº 01			PIEZÔMETRO Nº 02			PIEZÔMETRO Nº 03		
t (min)	SISTEMA	N.E. (m)	t (min)	SISTEMA	N.E. (m)	t (min)	SISTEMA **	N.E. (m)
t = 0	PT 1 2 3	15,64 16,00 16,85 17,00	t = 0	PT 1 2 3	+ 0,87 + 0,52* + 0,38 + 0,37	t = 0	PE 1 2 3	5,12 4,23 4,16 4,19
t = 30	1 2 3	17,75 17,00 17,00	t = 10	PT 1 2 3	5,25 + 0,22 + 0,35 + 0,36	t = 10	PE 1 2 3	5,16 4,22 4,13 4,16
t = 40	1 2 3	18,05 17,00 17,02	t = 20	PT 1 2 3	5,54 0,82 0,40 0,42	t = 20	PE 1 2 3	5,16 4,23 4,13 4,16
t = 50	1 2 3	18,27 17,10 17,50	t = 30	PT 1 2 3	5,35 1,02 0,43 0,44	t = 30	PE 1 2 3	5,18 4,23 4,14 4,17
t = 60	1 2 3	18,37 17,12 17,50	t = 40	PT 1 2 3	6,00 1,31 0,48 0,48	t = 40	PE 1 2 3	5,16 4,22 4,13 4,16
t = 70	1 2 3	18,48 17,17 17,80	t = 50	PT 1 2 3	6,17 1,49 0,53 0,53	t = 50	PE 1 2 3	5,17 4,21 4,14 4,17
t = 80	1 2 3	18,53 17,14 17,28	t = 60	PT 1 2 3	6,24 1,78 0,58 0,58	t = 60	PE 1 2 3	5,17 4,21 4,14 4,17
t = 90	1 2 3	18,63 17,16 17,17	t = 80	PT 1 2 3	6,44 2,09 0,73 0,68			
			t = 100	PT 1 2 3	6,54 2,26 0,70 0,69			
			t = 120	PT 1 2 3	6,64 2,38 0,82 0,80			

t = tempo

PT = poço tubular

PE = poço escavado

1, 2, 3 = tubos que compõem o piezômetro multinível

1 = tubo de maior comprimento.

2 = tubo de comprimento intermediário.

3 = tubo de menor comprimento

* = altura do tubo em superfície

** = PT em funcionamento.

TABELA 01 - MEDIDAS DO NÍVEL ESTÁTICO DOS PIEZÔMETROS MULTINÍVEIS E POÇOS
TUBULARES MONITORADOS - ATIBAIA (SP)

O relevo montanhoso situa-se predominantemente nos domínios graníticos e apresenta altitudes de 1.000 a 1.400 metros, destacando-se do relevo regional a exemplo das serras de Bocaina, Atibaia e Pedra Vermelha a nordeste, leste e sudeste da área, respectivamente.

Morrotes ou colinas mamelonares localizam-se quase que totalmente no Complexo Gnaíssico-Migmatítico, caracterizando-se por altitudes entre 800 a 1.000 metros, constituindo uma superfície erosiva com configuração bastante ondulada do tipo "mar de morros" e topos arredondados.

O relevo de agradação é representado por várzeas quaternárias, planícies a nível de base, com altitudes inferiores a 800 metros, sujeitas periodicamente a inundações, principalmente nas proximidades do rio Atibaia.

O clima é tropical de altitude com temperaturas médias anuais de 22,8° e 13,6°C, máxima e mínima respectivamente, precipitação média anual de 1.350 mm, evapotranspiração de 919mm e umidade relativa de 74% (CARVALHO et al, 1975). Estes dados refletem uma taxa de excedente hídrico de 431 mm/ano.

A porção da bacia hidrográfica do rio Atibaia estudada representa 22% da área total de drenagem do Atibaia, inserida na bacia do rio Piracicaba. Limita-se ao norte com a bacia do rio Jaguari e ao sul com a do Jundiá, sendo que o principal curso d'água é o rio Atibaia que atravessa a região de leste para oeste balizado por falhamentos, tendo como afluentes principais na margem direita os ribeirões das Pedras, do Mato Dentro e do Amaral e, na margem esquerda, os ribeirões dos Porcos, Laranja Azeda, Folha Larga, Maracanã e Pinhal.

O rio Atibaia possui um padrão anastomótico devido a intensa sedimentação sofrida condicionando, conseqüentemente, a mudanças do posicionamento de seu leito. No geral, seus principais afluentes apresentam configuração retilínea e um

paralelismo entre si, reflexo da congruência com falhas e/ou fraturas.

O padrão de drenagem é dendrítico-retangular, localmente angular, refletindo o caráter litológico e os aspectos rupturais que atuaram na região.

3.2 - Contexto Geológico

As principais litologias existentes na região, em termos de distribuição espacial, pertencem ao Complexo Gnaíssico-Migmatítico de Amparo e aos maciços graníticos de Socorro e Atibaia.

3.2.1 - Complexo Amparo

Os gnaisses, migmatitos, anfibolitos, granulitos, xistos e metabásicas que ocorrem no domínio do Bloco Jundiá, foram definidas por EBERT (1968) como Grupo Amparo. Em 1981, SCHOBENHAUS FILHO reportando-se a existência de possíveis núcleos mais antigos e a supracrustais ainda não perfeitamente caracterizadas e delimitadas no Amparo, propõe para este a designação de Complexo que é utilizada atualmente pela maioria dos autores, entre eles BISTRICHI et al (1981) e MORALES et al (1985), e por esta razão aqui também adotada. Regionalmente é delimitado ao sul pelas falhas de Itu, Jundiuvira e Camanducaia; ao norte, pela falha de Jacutinga e a oeste é recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná.

WERNICK et al (1976) sugerem pelo menos dois ciclos metamórficos tectônicos: a) um ciclo de médio a alto grau correlacionável ao Ciclo Transamazônico, envolvendo a formação do Amparo em condições de fácies anfibolito e granulito, e; b) posterior rejuvenescimento através de remigmatização, feldspatização e intrusão de corpos graníticos, no Ciclo Brasileiro.

Datações radiométricas pelo método Rb/Sr concordam com WERNICK et al (op. cit.), definindo idade Transamazônica para a formação do Amparo (ARTUR, 1980; WERNICK et al, 1981), enquanto que datações através de K/Ar caracterizam os efeitos do Ciclo Brasileiro (HAMA et al, 1979; CAVALCANTE et al, 1979; ARTUR, 1980).

Na área estudada o Complexo Amparo abrange 325,5 km² (55,5 %) e é representado predominantemente por uma unidade gnaíssica-migmatítica com intercalações de xistos, anfibolitos, quartzitos e metabásicas.

Entre os gnaisses predominam os quartzo-feldspáticos, granada-biotita gnaisses com ou sem sillimanita, hornblenda-biotita gnaisses e tipos cálcio-silicatados. Os tipos bandados são os mais comuns, destacando-se os granada-biotita gnaisses e, secundariamente, ocorre um tipo "oftálmico" caracterizado por lentes elipsoidais, milimétricas, orientadas segundo a foliação e sendo compostas por quartzo, feldspatos, biotita, moscovita e, mais raramente, sillimanita e granada.

Gnaisses ricos em biotita e hornblenda se distribuem por toda a área. Mineralogicamente são compostos por quartzo, andesina, microclinio, biotita, hornblenda e acessórios (opacos e titanita). As intercalações xistosas são representadas por moscovita ou biotita xistos contendo quartzo, moscovita, biotita, clorita e actinolita, (MORALES et al, op. cit.).

Os gnaisses passam gradativamente, de oeste para leste, para migmatitos que aos poucos, à medida que se caminha para leste, vão exibindo estruturas cada vez mais complexas. A maior parte dos migmatitos é derivada de metassedimentos, com leucossomas resultantes tanto da injeção quanto da anatexia de material granítico, apresentando coloração rósea a esbranquiçada e são constituídos por microclinio, oligoclásio, quartzo, biotita, hornblenda, granada e moscovita (MORALES et al, op. cit.).

Os paleossomas representam composições gnaíssicas diversas. As estruturas migmatíticas mais comuns são as acamadas, schillieren, agmatítica e nebulítica.

No domínio gnaíssico-migmatítico é comum a presença de veios quartzosos, fraturados, com larguras de até 50 cm, geralmente concordantes com a foliação mineralógica. MORALES et al (op. cit.) citam a existência de "enxames" de veios quartzosos de espessuras que chegam a ser métricas e passíveis de serem lavrados.

3.2.2 - Maciços Graníticos

Corpos graníticos com dimensões variadas pontilham a região, formando as proeminências do relevo, sendo que FONSECA et al (1979) englobam esses litótipos em dois maciços, Socorro e Atibaia.

O maciço de Socorro ocupa uma área de 136 km² (23 %) e é representado por corpos de dimensões variadas, equi a inequigranulares, granulação fina a média, colorações rósea, cinza ou esbranquiçada e fortemente cataclasados. O tipo mais comum é o biotita-granito composto por quartzo, feldspato potássico, biotita, hornblenda e, esporadicamente, moscovita.

Ao norte da área ocorre um granito róseo com megacristais de microclínio não orientados, de forma retangular com até 10 cm de comprimento. Mineralogicamente é composto por quartzo (20-30%), microclínio (25-40%), plagioclásio (oligoclásio-andesina, 20-30%) e biotita (10-20%), aparecendo comumente a hornblenda nos tipos granodioríticos (MORALES et al, 1985).

Ao sul existem granitos de coloração cinza, granulação fina a média, caracterizados pela presença marcante de moscovita.

CAMPOS NETO et al (1983) denominam de ''catapora'' ao granito com cristais granatíferos de até 2,0 cm de diâmetro, compostos macroscopicamente por microclinio, biotita, quartzo e granada. Possuem foliação cataclástica e contém xenólitos de material anfibolítico.

Feições migmatíticas são comuns no maciço de Socorro, representando provavelmente restos não digeridos das encaixantes, ou mesmo do material inicial cuja anatexia originou as rochas graníticas.

WERNICK et al (1978 a,b) atribui ao Ciclo Brasileiro a profusa intrusão de material granítico nas rochas do Complexo Amparo.

O maciço granítico de Atibaia ocupa 52,4 km² (9 %), ficando essencialmente localizado na porção sudeste da área, representando a maior expressão topográfica e tendo seu posicionamento concordante com a foliação regional.

MORALES et al (1985) reportam esta unidade ao Proterozóico Superior. Este granito se caracteriza por ser homogêneo, granulação média a grosseira, chegando localmente a ser muito grosseira, e geralmente inequigranular. É composto de quartzo, microclinio, oligoclásio, biotita e hornblenda, possuindo textura cataclástica, estrutura foliada e sendo menos cataclasado do que o maciço de Socorro.

3.2.3 - Coberturas Coluvionares

Os sedimentos coluvionares são restritos a manchas de unidades miocênicas a pliocênicas, abrangendo uma área de 23 km² (3,9 %).

MORALES et al (1985) denominaram, informalmente, de Formação Tanque aos sedimentos que ocorrem entre as altitudes de 740 a 760 metros, porém as vezes atingindo 800 metros. É constituída por sedimentos arenosos e silto-argilosos de coloração esbranquiçada, possuindo estratificação plano-paralela que, as vezes, torna-se tão finamente laminada que grada para um folhelho.

A Formação São Paulo, ou coberturas cenozóicas indiferenciadas correlatas a esta segundo BISTRICHI et al (1981), é representada por sedimentos pouco litificados de coloração variegada, indo desde a amarela até a vermelha, arenosos a argilosos com intercalações de níveis conglomeráticos. Suas melhores exposições são encontradas na região leste da área.

Não existem dados referentes as espessuras destas coberturas na área porém, supõe-se pelas observações de campo, que oscilem entre 5,0 a 20,0 metros.

3.2.4 - Aluviões

Depósitos aluvionares ocorrem nas calhas das principais drenagens, a exemplo do rio Atibaia, ou dispõem-se em manchas isoladas ao longo das drenagens secundárias capeando uma superfície de 46 km² (7,8 %).

A composição mineralógica destes depósitos é muito variada, em função da litologia percorrida pela drenagem. É comum a presença de argilas, siltes, areias e cascalho grosseiro predominantemente quartzo-feldspático.

Possuem, no geral, poucos metros de espessura porém, localmente, chegam a 60 metros (PENALVA, 1971). Este autor admite que para a região de Atibaia estes terraços sejam do Plioceno Superior, não excluindo a possibilidade de serem mais recentes.

3.2.5 - Feições Estruturais

3.2.5.1 - Estruturas Dúcteis

A região em apreço se caracteriza pela presença de uma foliação de pequeno ângulo de mergulho, paralela ao plano axial das dobras mais antigas ($F_n + 1$), e pelas ondulações com direções preferenciais WNW e NNE, esta última formando sinformes e antiformes.

A atitude preferencial para a foliação principal ($S_n + 1$) apresenta direção EW e pequenos mergulhos para SW e SE. À medida que se caminha para sudeste da área, a direção de $S_n + 1$ volta-se mais para NE decorrente da influência do maciço granítico de Atibaia.

MORALES et al (1985) definem três conjuntos de dobras, $F_n + 1$, $F_n + 2$ e $F_n + 3$. As primeiras são as mais antigas, onde $S_n + 1$ é paralela ao plano axial e pertencem a um evento deformacional $D_n + 1$, onde a única evidência de um evento

anterior (D_n) é a presença de uma xistosidade dobrada ao longo de $F_n + 1$. Este conjunto abriga dobras centimétricas a decimétricas, fechadas e isoclinais, simétricas e assimétricas e geralmente intrafoliares sem raízes. Possuem atitude preferencial em torno de EW/30°S com plunge, no geral, de 20° para S10°W. Outros máximos de concentração podem ser visualizados na figura 05, observando-se que todos possuem caimento para SW e SE.

Os minerais do granito de Atibaia estão orientados preferencialmente para NNE, com altos mergulhos para NW, concordante com $S_n + 1$ na borda do corpo. O contato com a encaixante é marcado por uma zona intensamente deformada, com lineações de estiramentos mineralógicos sub-horizontais. Desta forma, este litótipo é tido como sin a tardi-tectônico a $D_n + 1$, ou mais provavelmente, sin a tardi-tectônico aos falhamentos transcorrentes.

Os outros conjuntos de dobras que afetam $S_n + 1$ possuem estilos semelhantes, porém são diferentes em termos de direções axiais e amplitude de dobramento.

$F_n + 2$ envolve dobras suaves e abertas, centimétricas a métricas, sem desenvolver foliação paralela ao plano axial. Em $F_n + 3$ pode ser verificada a existência de clivagem de fratura paralela ao plano axial, sendo esta feição posterior a $F_n + 2$.

A figura 06 mostra as concentrações preferenciais dos eixos, com predomínio das direções em torno de EW, atitudes dos eixos de $F_n + 2$, e menores concentrações em torno de NNW e NNE, atitudes de $F_n + 3$.

Números de medidas: 55

Máximos de concentração N10°E / 20°SW
N40°W / 30°SE
N70°W / 30°SE
N80°E / 35°SW

Figura 05 - Diagrama de frequência dos polos dos eixos das dobras F_{n+1} (Proj. Hem. Inf.) (MORALES ET AL 1985)

Números de medidas: 120

Máximos de concentração N80°E / 26°SW
N90°E / 22°E
N75°W / Horizontal
N20°W / 20°NW

Figura 06 - Diagrama de frequência dos polos dos eixos das dobras da foliação principal, área total. (Proj. Hem. Inf.)

(MORALES ET AL 1985)

Fn + 2 possui planos axiais com direções preferenciais próximas a EW com grandes mergulhos para sul e norte. Fn + 3 possui direções N-S com mergulhos sub-verticais.

Fn + 3 é caracterizado por dobras em escala regional, representando grandes sinformes e antiformes com eixos caindo para SSW. Estas estruturas podem ser observadas na porção NE da área estudada.

3.2.5.2 - Estruturas Rúpteis

A região leste do Estado é recortada por inúmeras falhas com extensões de centenas de quilômetros, atitudes sub-verticais e espessas zonas cataclásticas. Elas foram ativas no fim do Brasiliano com caráter transcorrente e se sujeitaram a movimentos normais durante a Reativação Wealdeniana da Plataforma Sulamericana (HASUI et al, 1977).

Na região de Atibaia são encontradas evidências de falhas e fraturas por toda parte, dadas pela presença marcante de zonas cataclasadas e superfícies estriadas, além da congruência, frequentemente, de falhas ou fraturas com as maiores drenagens.

Foram levantadas em campo 775 medidas de atitudes de fraturas, obtidas em litologias diferentes e em diversos afloramentos. O diagrama da figura 07 mostra a predominância de dois sistemas de fraturas, sendo um com direção N50º a 55ºE e outro com N45º a 60ºW. Um terceiro, de menor expressão, situa-se praticamente a E-W.

As medidas foram plotadas em diagramas de projeção estereográfica equiárea, gerando diagramas de contorno. O tratamento foi realizado a nível geral e por unidade litológica.

A figura 08 mostra que na região estudada existem planos preferenciais de fraturas com atitudes N49°W, N53°W e N44°E, todos com mergulhos subverticais.

A figura 09.A representa a distribuição dos polos das atitudes de fraturas obtidas nos granitos Socorro e observa-se que os planos preferenciais de fraturas existentes nesta litologia situam-se com direções N48°W/subvertical, N46°W/82°SW e N50°E/78°SE.

A figura 09.B mostra as concentrações preferenciais dos polos das atitudes de fraturas do Complexo Amparo, que refletem planos de fraturas situados entre N30°W a N55°W com mergulhos subverticais e, secundariamente, um plano com atitude N44°E/subvertical.

Para o maciço granítico de Atibaia foram tomadas apenas 15 medidas de atitudes de fraturas, número este insuficiente para a elaboração de diagrama estrutural. Porém, os planos medidos possuem atitude geral de N48°W/subvertical.

Desta forma, existe uma predominância de planos de fraturas com atitudes em torno de N50°W/subvertical, secundado por N48°E/84°SE.

A principal falha representa a continuidade da Falha de Extrema (CAMPOS NETO et al, 1984) e atravessa toda a área de estudo com direção geral N35°E. Ao longo de toda sua extensão observa-se rochas cataclasadas chegando a constituir, por vezes, faixas com 15 metros de largura. MORALES et al (1985) observaram dois máximos de concentração, N25°E/85°SE e N56°E/80°NW, para a foliação milonítica e para as estrias foram obtidas atitudes preferenciais de N30°E/10°SW e N45°E/45°SW, podendo indicar dois tipos de deslocamentos, sendo um de rejeito horizontal e outro oblíquo.

Figura 07 — Diagrama de roseta das direções de fraturas — Atibaia (SP)

Figura 08 — Diagrama de frequência dos polos das atitudes de fraturas (Proj. Hem. Inf.) - Atibaia (SP)

Número de medidas: 191

Máximos de concentração N48°W/ Subvertical
N46°W/ 82°SW

A - Granito Socorro

B - Complexo Amparo

Número de medidas: 564

Máximos de concentração N30°W/ Subvertical
N55°W/ Subvertical

Figura 09 - Diagrama de frequência dos polos das atitudes de fraturas (Proj. Hem. Inf.) - Atibaia (SP).

A existência de feições de relevo mais elevadas a oeste, adjacentes ao traço da falha, pode ser oriunda da influência desta tectônica e neste caso, as estrias de rejeito oblíquo seriam mais jovens. Assim, esta falha se formou em caráter de transcorrência e foi, posteriormente, reativada como falha normal.

Outros falhamentos importantes ocorrem a este-sudeste da área, com direções preferenciais entre N20° a 40°E, com mergulhos de alto a médio grau, tanto para NW quanto para SE. As zonas milonitizadas apresentam foliação cataclástica de N15° a 30° E/50° a 70°SE e as estrias possuem caimento subhorizontal, indicando transcorrência. Porém, são encontradas escarpas de falhas alinhadas com relevo mais alto no bloco ocidental, o que pode representar uma reativação com características de falhas normais.

Estes falhamentos normais teriam aproveitado antigos planos de fraqueza, abatendo blocos como um "graben" de pequeno porte.

Outro conjunto de falhas importante ocorre controlando o curso do rio Atibaia, apresentando direção geral E-W na porção oriental e NW-SE na parte ocidental.

3.3 - Hidrologia de Superfície

A área de estudo faz parte da bacia do rio Piracicaba que juntamente com outras bacias foram estudadas pelo DAEE em 1981, que utilizou um modelo determinístico de simulação hidrológica (MODELO MERO) calibrado com dados de uma série de 30 anos (período de 1948 a 1978).

Estas bacias foram divididas em sub-bacias. As diferenças entre as médias das séries anuais de volumes médios escoados no ano para cada sub-bacia situou-se entre 6% e 15%,

comprovando os bons resultados obtidos na fase de calibragem do modelo.

A área pesquisada possui partes das sub-bacias Atibaia 1 e Atibaia 2 (Figura 10), predominando a segunda, e o divisor hidrográfico entre elas é a serra de Atibaia, que possui altitude de 1.420 metros. No contexto geológico, Atibaia 1 drena terrenos gnaíssico-migmatíticos com espessos mantos de alteração, enquanto Atibaia 2 drena litologias graníticas, onde os mantos de alteração são menos espessos.

Resultados do balanço hidrológico são mostrados no quadro 01 sendo estes dados exclusivos para cada sub-bacia, ou seja, não foram levados em consideração os resultados obtidos em áreas à montante.

Com relação aos índices indicadores do regime hidrológico, observa-se que a relação Q_t/P é igual a 38% e isto quer dizer que do volume precipitado sobre cada sub-bacia, 38% sai como vazão no ponto de controle fluvial. A relação Q_b/P mostra que 13% da precipitação infiltra, fluindo pelos aquíferos e/ou retornando aos rios sob a forma de vazão de base.

A relação Q_b/Q_t é da ordem de 34% e ressalta a boa capacidade de armazenamento d'água em sub-superfície.

3.4 - Hidrogeologia

O domínio cristalino é tratado pela hidrogeologia como um tópicos à parte e nele se pode ter dois contextos principais: rochas cristalinas com espessos mantos de alteração, onde a circulação d'água subterrânea ocorre através dos interstícios criados pela ação do intemperismo e, rochas cristalinas inalteradas, ou com pequeno manto de alteração, onde o fluxo subterrâneo ocorre predominantemente em fraturas.

FONTE: DAEE, 1981

- ÁREA EM ESTUDO**
- 1-SUB-BACIA ATIBAIA 1 - POSTO 6.267.0000
 - 2-SUB-BACIA ATIBAIA 2 - POSTO 3D-008
- SEDE DE MUNICÍPIO
- DRENAGEM
- RESERVATÓRIO EXISTENTE
- LIMITE DE SUB-BACIA
- ▲ POSTO FLUVIOMÉTRICO
3D-019
1
2

 POSTO FLUVIOMÉTRICO
 (escoamento total (1), e escoamento básico (2), em mm/ano.
 Valores médios pluviométricos obtidos do modelo de simulação hidrográfica.)

Figura 10 - Localização da área estudada em relação às sub-bacias hidrográficas

R I O	ATIBAIA	ATIBAINHA
Posto fluviométrico (prefixo)	Itatiba (3D-006)	Atibaia (62670000)
Área de drenagem (km ²)	775	420
Precipitação (P) - mm/ano	1.296	1.319
Evaporação real - mm/ano	802,7	821,2
Escoamento total (Qt) - mm/ano	492	497
Escoamento básico (Qb) - mm/ano	167	171
Qt/P (%)	37,96	37,68
Qb/P (%)	12,88	12,96
Qb/Qt (%)	33,94	34,40

FONTE: DAEE, 1981.

QUADRO 01 - MÉDIAS MULTI-ANUAIS DO BALANÇO HÍDRICO

O primeiro caso representa aproximadamente 80 % da área precambriana brasileira (Figura 11) e nele está inserida a área em estudo.

Neste tópico será feita uma caracterização das zonas aquíferas definidas, tendo por base o cadastro dos poços tubulares e escavados e os aspectos geológicos, geomorfológicos, estruturais e hidrogeológicos observados.

3.4.1 - Caracterização das Zonas Aquíferas

3.4.1.1 - Manto de Intemperismo

Neste trabalho, o termo manto de intemperismo, ou de alteração, é utilizado para representar a zona de rochas alteradas pelo intemperismo físico-químico. A espessura considerada desta zona vai desde o solo até o contato entre a rocha alterada, que mantém estruturas reliquias, com a rocha sã.

Na perfuração de poços tubulares, o manto de intemperismo tem que ser revestido para que não ocorra desmoronamento das paredes do furo. Desta forma, a extensão do revestimento foi utilizada como critério para se estimar as espessuras do manto de alteração, devendo ser ressaltado que, além do revestimento utilizado para estabilizar as paredes do poço, alguns metros (1,0 a 2,0 m) penetram na rocha sã para que a tubulação seja fixada (processo denominado de cravação).

A integração dos fatores litológico, fraturamento e drenagem é de fundamental importância no desenvolvimento do perfil de alteração.

Figura 11 - Potenciais de Águas Subterrâneas no Brasil
(REBOUÇAS, 1988)

A maior espessura do manto de intemperismo encontrada na região foi de 59,0 metros (Figura 12) e o intervalo que predomina situa-se entre 20,0 e 40,0 metros (68%), sendo que as menores estão associadas as cotas mais baixas, enquanto que as maiores encontram-se nas mais altas cotas e/ou em zonas fraturadas.

A espessura saturada é, predominantemente, inferior a 10,0 metros (Figura 13).

As maiores espessuras do manto de intemperismo estão no domínio do Complexo Amparo (Foto 04). As rochas desta unidade possuem uma composição mineralógica com mais de 40% de anfibólios e micas que alteram-se com muita facilidade em comparação com quartzo e feldspatos, minerais preponderantes nos maciços graníticos. Ainda, a existência de uma densa rede de drenagem, muitas vezes congruente às fraturas ou falhas, associada as características estruturais dos litótipos (xistosidade, bandamento composicional, etc) faz com que estas litologias sofram uma ação intempérica muito mais rápida resultando, conseqüentemente, em maiores espessuras do manto de alteração.

Exemplos deste fato são encontrados nos perfis litológicos dos poços tubulares de números 59, 36, 23, 10 e 46 que apresentam espessuras de rochas alteradas de 52, 50, 49, 42 e 41 metros, respectivamente. O perfil de alteração existente na área pode ser sumarizado da seguinte forma:

- a) Zona superficial formada por material argiloso a silto-argiloso, onde o processo pedogenético já alcançou seu desenvolvimento máximo. Possui espessuras que variam de 1,0 a 5,0 metros;
- b) material argilo-siltoso a areno-argiloso, localmente silto-argiloso, onde as estruturas da rocha matriz são pouco preservadas.

Figura 12 - Distribuição de frequência das espessuras do manto de alteração

Figura 13 - Distribuição de frequência das espessuras saturadas

FOTO 04 - Perfil de alteração do Complexo Amparo
(espessura média de 20 m).

LOCAL - Rodovia Fernão Dias (BR-381), trecho
Atibaia - Bragança Paulista (SP).

O Complexo Amparo apresenta cores avermelhadas, arroxeadas, esbranquiçadas e amareladas como consequência da maior ou menor concentração de máficos. Os xistos, anfibolitos e metabásicas, sempre alteradas, apresentam tonalidades ocre ou marrons; em estado de lixiviação muito intenso, a capa de alteração exhibe cores mais amareladas, típicas de bauxitas.

As espessuras variam de 5,0 a 20,0 metros, a condutividade hidráulica é baixa (10^{-4} a 10^{-5} cm/s) e a porosidade eficaz é muito pequena (0,1 a 2%).

- c) material friável formado por cristais desagregados, parcialmente alterados, e fragmentos de rochas em estado de alteração, porém mantendo as características da rocha matriz.

As espessuras situam-se entre 5,0 e 30,0 metros, a condutividade hidráulica é de moderada a alta (10^{-3} a 10^{-2} cm/s) e a porosidade eficaz varia de 2 a 5%;

- d) rochas fraturadas, pouco alteradas, conservando toda a estrutura da rocha sã. A espessura desta zona é de poucos metros e o fluxo é realizado essencialmente através das fraturas e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica é alta (10^{-1} a 10^{-2} cm/s), podendo variar localmente, e a porosidade eficaz varia de 0,5 a 3%.

O intervalo de predomínio da profundidade do nível estático nas cacimbas é de 0,4 a 9,0 metros (81%), como mostra a figura 14.b. Os valores acima de 9,0 metros mostram que os poços estão situados em níveis topograficamente mais altos.

Foram instalados três piezômetros multiníveis objetivando observar a relação entre o manto de intemperismo e o meio fraturado (item 2.5, página 09). O critério para verificar se existia transferência das águas do manto para o fraturado, consistiu em se bombear o poço tubular e monitorar o nível estático dele e do piezômetro.

A tabela 02 mostra as características dos sistemas observados.

POÇO TUBULAR							prof. piez. (m)
n.ordem	prof. (m)	rev. (m)	Q (m ³ /h)	N.E. (m)	N.D. (m)	cap.esp. (m ³ /h)/m	
4	80	20	3,3	15	35	0,165	30
19	132	20	18	+0,5	63	0,285	11
22	150	21	1,6	7	132	0,012	17

- prof. = profundidade
- rev. = revestimento
- Q. = vazão
- N.E. = nível estático
- N.D. = nível dinâmico
- cap.esp. = capacidade específica
- prof.piez. = profundidade do piezômetro multinível que monitora o poço tubular.

TABELA 02 - CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES MONITORADOS E DOS PIEZÔMETROS MULTINÍVEIS

a) poços tubulares

b) poços escavados

Figura 14 - Distribuição de frequência dos níveis d'água dos poços

O manto de intemperismo é totalmente revestido e, desta forma, aparentemente a água explorada pelos poços tubulares provém exclusivamente do meio fraturado, sendo este raciocínio adotado por todos os perfuradores de poços da região. Porém, observou-se que os níveis estáticos dos piezômetros 1 e 2 (monitorando os poços 4 e 19, respectivamente) sofrem rebaixamentos idênticos aos dos poços monitorados, comprovando a transferência das águas do manto de intemperismo para o meio fraturado.

No piezômetro Nº 3 (monitorando o poço Nº 22) não ocorreu este fato, o que indica que a água ali explorada provém de área de recarga mais distante, através de fluxo em fraturas.

Os dados da Tabela 01 (página 18) mostram que para o manto de intemperismo onde foram instalados os piezômetros 1 e 2, o último nível alterado (regolito silto-arenoso a arenoso, em contato com a rocha sã) é o que mais contribui em termos de transferência de água subterrânea para o meio fraturado, haja vista que nos dois piezômetros o rebaixamento médio do nível d'água foi de 2,76 metros, constatando maior condutividade hidráulica. Nos outros níveis alterados o rebaixamento médio oscila entre 0,16 e 1,45 metros.

Três testes de vazão com duração de 4 horas/poço foram realizados em cacimbas com lâmina d'água da ordem de 5,0 metros. A vazão média foi de $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ e o rebaixamento médio de 4,0 metros, o que reflete uma capacidade específica média de $0,225 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$.

3.4.1.2 - Meio Fraturado

Este meio é considerado como um domínio hidrogeológico heterogêneo e anisotrópico, onde o fluxo ocorre somente nas fraturas, e os seus parâmetros hidrodinâmicos estão estreitamente vinculados a intensidade, abertura e interconecção da rede de fraturas.

O intervalo de predomínio da profundidade dos níveis d'água está entre 0 e 9,0 metros (50%) como mostra a figura 14.a. Relacionando-o com o encontrado no manto de intemperismo (0,4 a 9,0 metros (81%)), observa-se que existe uma estreita correlação que reflete, mais uma vez, a interação entre os dois meios aquíferos, com transferência das águas do manto para o fraturado.

As vazões dos poços tubulares são, no geral, abaixo de 10 m³/h (90%) e destas, o intervalo de 0,3 a 5 m³/h detém 55% (Figura 15). Não existe critério definido entre vazão e profundidade do poço como mostra a figura 16, e normalmente os poços mais profundos estão locados em áreas de recarga (divisores hidrográficos) apresentando vazões inferiores a 2 m³/h.

Nas fichas técnicas dos poços foram encontradas referências a entradas d'água (anotadas como fraturas) a profundidades que variam de 24 a 220 metros, com o intervalo de 24 a 102 metros predominando com 62% (Figura 17) e, se considerarmos até 154 metros, tem-se um predomínio de 85,7%. Porém, deve ser lembrado que nem sempre o maior número de fraturas implica, necessariamente, em maior vazão, já que esta no meio fraturado se relaciona com fraturas abertas, interconectadas e fonte de recarga.

Figura 15 - Distribuição de frequência das vazões dos poços tubulares

(2) Número de poços existentes

Figura 16 - Relação entre vazão e profundidade dos poços tubulares - Atibaia (SP)

Figura 17 - Frequência das profundidades das entradas d'água na região de Atibaia - SP

A figura 18 mostra que 78,6% das entradas d'águas pertencem a poços perfurados em altitudes menores ou iguais a 800 metros, área considerada como de descarga. Se o poço está locado em área de recarga, mesmo tendo um número significativo de fraturas, sua vazão será muito inferior comparativamente a de outro poço com as mesmas características construtivas e número de fraturas, posicionado em área de descarga.

A capacidade específica é uma medida da eficiência da obra de captação e ela foi calculada para 44 poços tubulares da área em estudo. Os valores foram plotados em papel probabilístico log-normal (Figura 19) e apresentaram mediana de $6 \times 10^{-2} \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ com mínimo e máximo de 2×10^{-3} e $0,67 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$, respectivamente.

O DAEE (1981) analisou dados de 515 poços tubulares da 5a. Região Administrativa e obteve valores para a capacidade específica entre $2,5 \times 10^{-3}$ e $3,6 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ com mediana de $6 \times 10^{-2} \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ e valores mais frequentes entre 2×10^{-2} e $0,36 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$. BERTACHINI (1987) estudou a região de Jundiá, adjacente a área ora estudada, e determinou a capacidade específica para 189 poços, que oscilou entre $3,6 \times 10^{-3}$ a $3,6 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ com mediana de $0,10 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ e valores mais frequentes entre 2×10^{-2} e $0,54 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$. Ressalta-se que os poços analisados por BERTACHINI (op. cit.) estão inclusos nos estudados pelo DAEE (op. cit.).

Porém, estes resultados devem ser utilizados com precaução, pois existindo, localmente, transferência das águas do manto de intemperismo para o meio fraturado, as capacidades específicas refletirão características de um meio aquífero com dupla porosidade, e não unicamente do fraturado.

Figura 18 - Relação entre altitude da região e entradas d'água - Atibaia (SP)

Figura 19 – Probabilidade logarítimo normal da capacidade específica dos poços tubulares da região de Atibaia – SP

(2) Número de poços existentes

Figura 20 - Relação entre vazão do poço e altitude do local onde foi perfurado - Região de Atibaia (SP).

A transmissividade obtida por BERTACHINI (op. cit.) oscilou entre $1,2 \times 10^{-6}$ a $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$.

Apesar da densidade de fraturas ser um aspecto relevante à locação do poço, ela não assegura melhores vazões e sim, locais mais propícios, comparativamente a outros, para a perfuração. BERTACHINI (op. cit.) diz que "...a maior densidade de frequência de lineamentos de fraturas por unidade de área, não implica no aumento da condutividade hidráulica das zonas fraturadas.." e isto reflete o fato de que além da existência de fraturas, estas devem ser abertas para que possa ocorrer fluxo subterrâneo.

Analisando a locação dos poços em função dos condicionantes morfológicos, observa-se que 80,5% deles estão locados em altitudes menores ou iguais a 810 metros (Figura 20). Porém, a locação na região não obedece critério morfológico e está associada unicamente ao local da demanda, haja vista se ter poços perfurados em altitude de até 940 metros, área de divisor hidrográfico. A análise de 10 poços perfurados em divisores d'água mostra que a vazão oscila entre 0,25 e 1,6 m^3/h , com média de 0,7 m^3/h , e a capacidade específica está no intervalo de $2,35 \times 10^{-3}$ a 0,20 $(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$ com média de $8,51 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$.

A unidade litológica mais perfurada é o Complexo Amparo, detendo 78% dos poços. Este fato está associado a ocupação populacional, pois esta unidade ocupa uma área de 325,5 km^2 (55%) e possui altitudes normalmente inferiores a 810 metros.

Os condicionantes estruturais constituem um dos aspectos de locação de poços em terrenos cristalinos mais discutidos na hidrogeologia. Trabalhos como os de SIQUEIRA

(1963) e COSTA (1965, 1986, 1987) na região Nordeste e de SILVA (1984) e BERTACHINI (1987) no Sudeste, enfocam a geologia estrutural como um instrumento útil para esta finalidade. BERTACHINI (op. cit.) mostra que para a região de Jundiaí, os poços situados nos lineamentos foto-interpretados de maior extensão e que apresentam forte evidência de fratura, são os que possuem os maiores valores de capacidade específica.

Na região de Atibaia, a análise de dados relativos a 11 poços efetivamente locados sobre lineamentos de fraturas, mostra que eles possuem vazão média de $7,9 \text{ m}^3/\text{h}$, com mínima de $3,2 \text{ m}^3/\text{h}$ e máxima de $18 \text{ m}^3/\text{h}$, e capacidade específica média de $0,213 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$, sendo a mínima de $0,036 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$ e a máxima de $0,67 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$. Observa-se que a capacidade específica média está bem acima do valor da mediana ($0,06 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$) encontrada na análise geral dos dados.

3.5 - Estimativa das Reservas Hídricas Subterrâneas

O cálculo de reservas de águas subterrâneas além de considerar o fator pluviometria, também baseia-se nas características dimensionais e hidrodinâmicas das unidades aquíferas.

No âmbito do cristalino, a porosidade e condutividade hidráulica existentes são secundárias, geradas por fraturamento e/ou intemperismo. A relação entre dimensões longitudinais e

transversais de interconecção e abertura das fraturas, entre outros fatores, gera características heterogêneas e anisotrópicas para este contexto.

Na área em estudo, a atuação intempérica propiciou a formação de espessos mantos de rochas alteradas e, conseqüentemente, gerou um sistema de porosidade intergranular.

O dimensionamento do potencial hídrico subterrâneo no domínio de rochas precambrianas, onde somente existe condição de infiltração, circulação e armazenamento de água em fraturas, é praticamente impossível. Assim, esta estimativa de reservas será feita considerando-se somente as unidades aquíferas porosas, neste caso representadas pelo manto de intemperismo e aluviões.

As reservas de águas subterrâneas serão divididas em duas categorias: renováveis, também denominadas de dinâmicas, e permanentes, chamadas de estáticas ou geológicas.

As renováveis representam o volume de água que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo anual ou sazonal, ou seja, que se encontra em constante movimento.

Não ocorrendo o aproveitamento dessas reservas por obras de captação, este potencial é reintegrado ao ciclo hidrológico através da evapotranspiração ou constituindo o fluxo de base dos rios. No último caso, o aquífero funcionará como fonte de recarga para a bacia hidrográfica.

As reservas permanentes representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. É o potencial armazenado abaixo da zona de flutuação do nível estático.

3.5.1 - Reservas Renováveis

Considerando-se uma precipitação média de 1.300 mm/ano para a região, se tem um volume anual precipitado de $707,6 \times 10^6 \text{ m}^3$.

As reservas renováveis podem ser calculadas pela seguinte expressão matemática:

$$\boxed{Rr = A \cdot Pe} \quad , \text{ onde}$$

Rr - reservas renováveis (m^3/ano)

A - área (m^2)

Pe - Pluviometria eficaz, que é equivalente a lâmina d'água do fluxo de base.

As coberturas aluvionares ocupam uma área de $46 \times 10^6 \text{ m}^2$, e possuem um volume de recarga da ordem de $7,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ que constituem as reservas renováveis deste aquífero.

O manto de intemperismo recobre uma superfície de $544,4 \times 10^6 \text{ m}^2$, para o qual se tem um potencial de $92,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ para as reservas renováveis.

3.5.2 - Reservas Permanentes

As águas subterrâneas que representam as reservas permanentes podem ser estimadas pela seguinte expressão:

$$\boxed{Rp = A \cdot B \cdot \mu} \quad , \text{ onde}$$

Rp - reservas permanentes (m^3)

A - área (m^2)

B - espessura média saturada (m)

μ - porosidade eficaz (%)

Considerando uma espessura saturada média de 5,0 metros e porosidade eficaz de 5% para as aluviões, as reservas permanentes serão de $11,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Para o manto de intemperismo a espessura média saturada considerada é de 10,0 metros e porosidade eficaz de 2%, o que resultará em um potencial de $108,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ para as reservas permanentes.

Assim, o volume hídrico subterrâneo que constitui as reservas permanentes alcança um total de $120,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

As reservas exploráveis são de difícil quantificação por dependerem da locação e nível tecnológico das obras de captação. Na prática, considera-se que elas constituem 1/3 das reservas totais renováveis.

Foram cadastrados 79 poços tubulares e 157 poços escavados, sendo que 90% das vazões dos primeiros situam-se abaixo de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ e 55% são inferiores a $5 \text{ m}^3/\text{h}$. No caso de todos estarem operando com vazão média de $5 \text{ m}^3/\text{h}$, teríamos uma vazão explorada de $405 \text{ m}^3/\text{h}$. Considerando que estes poços operam em média 8 h/dia, o volume explorado será de $1,16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

As 157 cacimbas operando com vazão média de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ e em regime de bombeamento de 3h/dia, já que no geral se prestam a uso doméstico, exploram um volume de $471 \text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, um potencial de $0,17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Desta forma, observa-se que um volume de $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ de águas subterrâneas está sendo explorado anualmente na região de Atibaia. Tal potencial representa tão somente 1,3% das reservas renováveis.

3.6 - Hidroquímica

3.6.1 - Composição e Classificação das Águas Subterrâneas

As análises químicas dos íons maiores nas águas subterrâneas, bem como as medidas de condutividade elétrica realizadas no campo servem como suporte básico para a compreensão do grau de mineralização das mesmas (Tabela 03).

A condutividade eletrolítica, ou condutividade elétrica específica, é a capacidade que uma solução possui de conduzir corrente elétrica e resulta da soma das contribuições dos íons presentes. Como ela depende de todos os íons existentes na solução, não é uma medida qualitativa, mas sim, quantitativa, podendo ser utilizada para estimar-se o grau de mineralização das águas na ausência de análises químicas (LOGAN, 1965; MATTHESS, 1982; HEM, 1985; DRISCOLL, 1986).

Determinações de pH e condutividade elétrica foram realizadas em campo, sendo 157 em águas de poços escavados, 39 em poços tubulares e 12 em fontes, totalizando 208 medidas.

A condutividade elétrica das águas subterrâneas dos poços tubulares, situa-se, predominantemente, entre 80 e 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (87%). Porém, observa-se que 50 % destas ficam restritas ao intervalo de 120 a 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 21.a).

Para os poços escavados predominam valores abaixo de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (71%), porém chegando a atingir 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 21.b). Para as fontes foi realizado um pequeno número de medidas (12) e o maior valor encontrado foi de 87,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que 50% delas situam-se abaixo de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Assim, evidencia-se uma maior mineralização para as águas dos poços tubulares, em concordância com os valores observados para os Sólidos Totais Dissolvidos (STD). A

AMOSTRA (Nº DE ORDEM/ ORIGEM)	CONCENTRAÇÃO (mg/l)									pH		COND. EL. a 25°C	
	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₂ livre	I	II	I	II
50 C	6,2	0,7	1,9	1,3	2,0	< 2,5	32,4	0,6	64,9	6,0	5,1	103	63
71 C	4,5	0,5	1,1	2,4	0,2	< 2,5	27,2	0,1	30,8	5,7	5,0	59	47
72 C	18,5	0,9	1,0	4,1	0,3	< 2,5	77,2	0,2	27,5	6,9	6,5	137	119
22 T	12,8	1,3	9,1	2,1	0,1	< 2,5	92,1	0,1	20,9	6,0	6,4	99	137
155 C	8,1	3,4	0,7	3,5	1,8	< 2,5	54,9	4,5	39,6	-	5,3	-	93
20 T	14,3	3,3	6,6	4,0	0,5	< 2,5	85,4	3,5	26,4	6,5	6,5	157	168
156 C	9,4	2,0	4,3	2,9	< 0,1	< 2,5	59,3	0,8	44,0	-	5,6	-	99
10 T	15,1	4,1	9,6	2,9	< 0,1	< 2,5	109,8	< 0,01	31,9	8,3	7,2	176	172
157 C	22,9	1,4	1,0	4,7	0,9	< 2,5	88,3	0,4	17,6	-	6,6	-	169
21 T	5,7	1,2	8,9	3,2	< 0,1	< 2,5	63,2	0,1	27,5	5,0	6,3	76	96
19 T	8,5	3,5	2,7	1,5	< 0,1	< 2,5	65,4	0,04	15,4	-	6,5	-	98
14 T	6,9	0,9	9,8	1,1	0,2	< 2,5	67,1	< 0,01	16,5	7,7	6,1	204	190
11 T	10,6	1,2	16,5	1,6	0,1	< 2,5	97,6	< 0,01	15,4	8,0	8,1	133	140
4 T	3,2	1,2	1,9	2,3	< 0,1	< 2,5	26,2	0,2	16,5	7,6	6,4	57	41
36 T	6,6	2,1	5,2	3,4	1,0	< 2,5	61,2	0,8	58,3	5,7	5,6	88	99

C = poço escavado

T = poço tubular

I = medidas em maio/junho/88

II = medidas em outubro/88 (coleta de amostras de águas para análises químicas)

TABELA 03 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS (ELEMENTOS MAIORES E CO₂ LIVRE) - ATIBAIA (SP)

a) poços tubulares

b) poços escavados

Figura 21 - Distribuição de frequência das medidas de condutividade elétrica específica "in situ" das águas subterrâneas

concentração de STD varia de 35 a 142 mg/l, evidenciando águas pouco mineralizadas, sendo que as maiores concentrações pertencem as águas dos poços tubulares, embora 55% delas apresentem STD abaixo de 90 mg/l.

Nas águas dos poços escavados, que são provenientes do manto de intemperismo, os valores de STD são inferiores a 80 mg/l, com exceção dos poços 72 (102,2 mg/l) e 157 (119,6 mg/l).

O bicarbonato predomina com concentrações entre 26,2 a 109,8 mg/l, seguido pelo cálcio (3,2 a 22,9 mg/l) e sódio (0,7 a 16,5 mg/l).

Os ânions nitrato, sulfato e cloreto, e os cátions magnésio e potássio, possuem, de modo geral, baixíssimas concentrações com um máximo de 4,5 mg/l.

O gás carbônico livre apresenta-se relativamente alto, com até 65 mg/l, decorrente da vegetação abundante existente na região e das pequenas profundidades do nível estático.

Na tabela 04 constam os resultados encontrados para silício, zinco, ferro, bário e fósforo. O flúor foi detectado somente no poço tubular 22, com 3,0 mg/l. Outros elementos-traço analisados não constam nesta tabela, pois suas concentrações ficaram abaixo dos limites de detecção dos métodos utilizados. São eles:

- prata ($< 0,05$ mg/l);
- alumínio ($< 0,10$ mg/l);
- boro ($\leq 0,02$ mg/l);
- cádmio ($\leq 0,02$ mg/l);
- cromo ($< 0,05$ mg/l);
- cobre ($< 0,02$ mg/l);

AMOSTRA (Nº DE ORDEM/ ORIGEM)	CONCENTRAÇÃO (mg/l)				
	Si	Zn	Fe	Ba	P
50 C	3,3	0,02	0,2	0,04	<0,1
71 C	7,8	< 0,02	< 0,02	0,03	<0,1
72 C	5,4	< 0,02	< 0,02	0,04	<0,1
22 T	17,6	0,3	< 0,02	< 0,02	<0,1
155 C	4,6	0,1	< 0,02	0,2	<0,1
20 T	15,4	1,1	< 0,02	< 0,02	<0,1
156 C	15,9	0,2	< 0,02	0,04	0,3
10 T	14,8	0,7	< 0,02	< 0,02	<0,1
157 C	7,3	0,03	< 0,02	0,08	0,2
21 T	24,6	1,3	< 0,02	0,02	0,3
19 T	15,5	0,1	< 0,02	< 0,02	0,2
14 T	18,4	0,02	< 0,02	< 0,02	<0,1
11 T	13,8	< 0,02	< 0,02	< 0,02	<0,1
4 T	12,1	0,03	< 0,02	0,02	<0,1
36 T	14,7	0,2	0,02	0,06	<0,1

T = poço tubular

C = poço escavado (cacimba)

TABELA 04 - ANÁLISES QUÍMICAS DE SILÍCIO E
ELEMENTOS-TRAÇO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DE ATIBAIA (SP)

- manganês ($\leq 0,07$ mg/l);
- chumbo ($< 0,10$ mg/l);
- níquel ($< 0,02$ mg/l).

As medidas de pH (Anexo 1 e 2) mostram que as águas dos poços escavados são mais ácidas, com pH geralmente inferior a 6,0, em comparação com as dos tubulares que apresentam-se acima de 6,0, atingindo até 8,1.

Na figura 22 verifica-se que o pH das águas dos poços tubulares e escavados predomina entre 5,5 a 8,0 (82%) e 4,5 a 6,0 (75%), respectivamente. Nas fontes, o pH varia de 4,5 a 6,5, com 75% abaixo de 6,0.

Desta forma, observa-se que as águas dos escavados e fontes são, no geral, ácidas. Somente 13% dos tubulares contêm águas levemente ácidas (pH entre 5,5 e 6,0) e 10% são ácidas (pH menor ou igual a 5,5).

A classificação através do diagrama triangular (Figura 23) mostra que os escavados possuem águas essencialmente bicarbonatadas cálcicas e os tubulares contêm águas bicarbonatadas mistas passando para sódicas e cálcicas.

3.6.2 - Evolução da Composição Química

Os aquíferos fraturados possuem características peculiares que os distinguem dos demais, tanto sob o aspecto de armazenamento quanto de qualidade das águas.

Os processos e fatores que influenciam na evolução química das águas podem ser classificados como intrínsecos e extrínsecos ao sistema aquífero (Figura 24).

a) poços tubulares

b) poços escavados

Figura 22 - Distribuição de frequência das medidas de pH "in situ" das águas subterrâneas

- Poços escavados (6 amostras)
- × Poços tubulares (9 amostras)

Figura 23 — Diagrama triangular das águas subterrâneas da bacia do rio Atibaia - folha Atibaia (SP).

Figura 24 - Fatores que influem na evolução química das águas subterrâneas (CRUZ, 1985)

A existência de uma densa vegetação na área de estudo, associada a grande umidade, faz com que existam altos teores de matéria orgânica nos solos gerando, conseqüentemente, maior produção de gás carbônico.

As águas pluviais contêm entre 0,5 a 0,8 mg/l de gás carbônico (SZIKSZAY, 1986). Porém, à medida que percolam os solos ganham ácido carbônico e se tornam mais ácidas, com maior capacidade de ataque aos minerais.

SCHOELLER (1962) ressalta que o solo é uma das zonas mais ativas na evolução química das águas subterrâneas e, a menos que outros fatores interfiram, é nele que elas adquirem uma composição quase definitiva.

Nas águas subterrâneas, o CO_2 total dissolvido apresenta-se sob a forma de CO_2 livre ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$) e CO_2 combinado (HCO_3^- e CO_3^{2-}) de acordo com as seguintes equações (SILVA, 1983):

A dissociação do HCO_3^- dará um caráter ácido as águas e não existirá condição de existência do CO_3^{2-} , como é observado em Atibaia. Nas análises, o HCO_3^- é dominante e observa-se que ele está em maior concentração nas águas dos tubulares, tendo comportamento similar ao cálcio e ao sódio.

A origem do HCO_3^- pode ser explicada pelas reações anteriores, com o CO_2 provindo da matéria orgânica em estado de decomposição no solo. KRAUSKOPF (1972) diz que dependendo da concentração da matéria orgânica, as águas do solo poderão apresentar pH igual a 4 ou até ligeiramente inferior.

O CO_2 dissolvido existente no meio aquoso participa da diminuição do pH das águas, e quanto maior sua concentração maior será a acidez das mesmas (HEM, 1985).

A condição de pH muito baixo para as águas do manto de intemperismo, chegando a 4,2, se deve a produção de ácidos húmicos nos solos. Esta condição é favorecida pelo posicionamento do nível estático, sub-aflorante, facilitando o aporte direto das águas que percolam a zona sub-saturada.

A medida que aumenta a profundidade do nível estático, observa-se a evolução do pH para um termo alcalino. Isto é nítido nos poços escavados com profundidades acima de 15 metros, onde o pH situa-se entre 6,0 e 7,0.

Os poços tubulares com águas ácidas nos mostram que existe contribuição direta das águas do manto de intemperismo para o meio fraturado, como também testemunham os piezômetros instalados.

O pH acima de 7,0 para as águas de poços escavados encontra explicação no ato de se adicionar cal virgem ou cloro às mesmas (informação verbal de proprietários).

As litologias existentes na área são representadas predominantemente por rochas gnaíssicas-migmatíticas e graníticas, onde os alumino-silicatos constituem a composição mineralógica básica (Tabela 05).

O ataque por soluções aquosas aos minerais, existindo conseqüentemente a liberação de íons, é o principal processo natural de mineralização das águas subterrâneas, sendo que o mecanismo essencial de alteração dos silicatos em clima tropical é a hidrólise (PEDRO, 1964 in PARISOT, 1983; KRAUSKOPF, 1972; FREEZE & CHERRY, 1979; MATTHESS, 1982; HEM, 1985; KAY, 1987). Este processo se desenvolve com a permanência do alumínio no

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	49,5	53,8	65,2	61,8	60,9	57,9	52,6	55,5	66,0	65,3	63,8	70,8	64,6	66,2	66,2	74,6	72,6	73,5	72,1	73,9
Al ₂ O ₃	15,3	12,8	14,0	15,0	14,8	15,3	14,1	12,7	13,8	14,0	14,7	14,1	15,8	12,9	14,0	12,4	13,3	14,2	13,2	13,0
FeO	8,2	9,1	3,4	4,0	4,3	4,7	9,6	5,9	2,3	2,5	2,4	1,8	3,6	4,8	3,2	0,9	1,4	0,7	1,0	0,9
Fe ₂ O ₃	3,6	2,0	2,0	1,5	1,8	3,2	1,9	2,3	2,1	2,0	2,2	1,0	1,2	1,6	1,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5
CaO	8,3	10,4	3,0	4,5	4,8	6,2	9,4	6,4	3,0	3,3	2,9	2,2	4,0	3,5	3,5	1,6	1,6	1,0	0,7	0,9
MgO	4,0	7,3	3,8	2,8	2,7	3,0	7,3	8,8	1,7	1,6	1,5	0,7	1,5	2,8	1,9	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4
Na ₂ O	3,9	1,0	1,1	3,4	3,5	3,6	1,4	2,5	4,0	4,1	3,9	3,6	3,0	2,2	3,0	3,0	2,6	3,8	2,6	3,6
K ₂ O	1,5	0,5	4,2	4,1	3,6	1,6	0,8	2,8	4,4	4,8	4,5	4,2	3,8	2,3	4,0	5,0	5,8	4,9	7,5	5,0
P ₂ O ₅	0,9	0,07	0,2	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	0,6	0,6	0,5	0,2	0,4	0,05	0,3	0,1	0,05	0,07	0,1	0,3

A) ÓXIDOS (%)

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ba	600	≤ 20	1150	1400	980	1050	80	685	2300	2050	2250	550	2400	280	1100	825	935	685	740	1450
Zn	110	72	67	74	72	78	96	73	80	85	73	55	94	50	62	16	79	24	30	31

B) ELEMENTOS MENORES (mg/l)

1 - Anfibolito	6 - Gnaiss quartzo-diorítico	11 - Riodacito	16 - Biotita-granada gnaiss
2 - Anfibolito	7 - Biotita-anfibolito	12 - Gnaiss granodiorítico	17 - Granada-biotita granito
3 - Biotita xisto	8 - Meta-quartzo diorítico	13 - Biotita gnaiss	18 - Biotita-moscovita granito
4 - Meta-tonalito	9 - Meta-andesito	14 - Biotita-granada gnaiss	19 - Granito
5 - Meta-tonalito	10 - Meta-andesito	15 - Biotita hornblenda gnaiss	20 - Riodacito

TABELA 05-ANÁLISES QUÍMICAS DE ROCHAS DA REGIÃO DE ATIBAIA (SP) - ÓXIDOS E ELEMENTOS MENORES (EXTRAÍDA DE MORALES et al, 1985).

perfil de alteração e eliminação, parcial ou total, de sílica e bases, ocorrendo entre um pH de 5,0 a 9,6. O fluxo da solução diluída pode ser variável, o que irá caracterizar os diferentes graus da hidrólise (MELFI, 1986).

A caracterização da hidrólise foi realizada a partir do conhecimento dos minerais primários e secundários envolvidos nas reações, e a cada grau corresponde uma fase solúvel de composição bem determinada contendo sílica e bases. O sistema é aberto e as águas de drenagem evacuam os elementos de modo que é impossível estabelecer um balanço global entre o momento em que o mineral começa a se alterar e o momento em que ele desaparece completamente (MELFI, op. cit.).

A sílica é o óxido mais abundante nas rochas da região, alcançando 74,6 %. Na hidrólise ela é liberada dos silicatos, sendo que parte fica sob a forma de colóides e parte dissolvida, e a solubilidade é diretamente proporcional ao pH (CORRENS, 1940 in MATTHESS, op. cit.).

A taxa de solução aquosa que percola a litologia, bem como os ácidos naturais, funcionam como catalizadores nas reações intempéricas e afetam o grau de sílica dissolvida nas águas.

Para um pH inferior a 9,0 e teor de sílica menor que 64,3 mg/l (ou 30 mg/l de Si) a principal forma molecular em que o silício dissolvido encontra-se nas águas subterrâneas é Si(OH)_4 (KRAUSKOPF, op. cit.; FREEZE & CHERRY, op. cit.; HEM, op. cit.) Nas amostras estudadas a concentração de silício está entre 3,3 e 24,6 mg/l e crescem com o aumento do pH.

O Al_2O_3 nas rochas precede a sílica alcançando 15,8 %. Porém, a concentração de alumínio detectada nas águas analisadas fica abaixo de 0,1 mg/l, e isto pode ser explicado pelo fato deste óxido não ser solubilizado durante a hidrólise, ficando retido nas estruturas dos argilo-minerais.

Apesar dos teores elevados de FeO (9,1%) e Fe_2O_3 (3,6%) nas rochas da região, e provindos dos minerais ferro-magnesianos (principalmente da biotita), a concentração nas águas subterrâneas do íon Fe é inferior a 0,2 mg/l. Certamente este íon ao ser liberado é imediatamente oxidado a ferro férrico, insolúvel, permanecendo no perfil de alteração.

O teor de bário encontrado nas litologias é de 2.400 mg/l e abaixo de 0,2 mg/l nas águas subterrâneas. Isto se deve ao caráter insolúvel deste elemento nas condições ambientais. O comportamento do zinco é similar ao do bário (FETTER, 1980).

GOLDICH, 1938 (in MELLO, 1975; PARISOT, 1983; MELFI, 1986) determinou uma série de estabilidade considerando somente a estrutura dos minerais cristalizados em altas temperaturas, quando eles são expostos a condições exógenas.

Observa-se que a estabilidade à alteração é diretamente proporcional a complexidade das ligações Si-O-Si, e quando comparada a Série de Bowen verifica-se que os primeiros minerais a se cristalizarem são os mais susceptíveis a transformações.

Tabela 06 - Série de estabilidade dos minerais primários formadores de rochas, determinada por GOLDICH, 1938 (MELLO, 1975).

A predominância do cálcio nas águas, seguido algumas vezes do sódio, se deve a alteração dos plagioclásios ricos em cálcio e cálcio-sódio que apresentam o menor grau de estabilidade, alterando-se rapidamente quando submetidos a condições externas e liberando esses íons para as águas subterrâneas.

O potássio origina-se, predominantemente, da alteração da biotita e, secundariamente, do feldspato potássico e moscovita. Ele possui um diâmetro atômico igual a distância inter-camadas da estrutura de alguns argilo-minerais e isto faz com que ele tenha uma forte tendência de ser incorporado nestes minerais, seja através de troca iônica ou por adsorção iônica.

Nas águas do manto de intemperismo ele sempre precede o cálcio, não acontecendo o mesmo nas dos poços tubulares. No manto, as águas são mais recentes e embora o potássio migre para os argilo-minerais, o menor tempo de residência das águas faz com que exista maior concentração deste elemento.

O magnésio é liberado principalmente da hornblenda e biotita. Sua baixa concentração entre os íons principais se deve a processos de troca iônica após ser lixiviado pela hidrólise.

O cloreto não é comum nas rochas cristalinas e sua ocorrência é relacionada as águas pluviais. A maior concentração ocorre nas águas do manto de intemperismo, atingindo até 2,0 mg/l, e isto se deve as características estruturais dos argilo-minerais que dificultam a passagem deste íon.

O nitrogênio pode ocorrer em diferentes estados de oxidação, desde N^{-3} até N^{-5} , sendo que em meio aquoso o N^{-3} , N^{+3} e N^{+5} formarão, respectivamente, o NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- (PIUCCI, 1978). O NO_3^- encontra-se presente nas águas subterrâneas da região e deriva da decomposição da matéria orgânica.

O fluor sô foi encontrado nas águas do poço tubular N° 22 (3,0 mg/l) e sua origem aparentemente não está relacionada com a litologia local. BERTACHINI (1987) determinou concentrações de até 4,0 mg/l deste elemento nas águas subterrâneas de Jundiá, limite com Atibaia, porém não explica sua origem. QUIST (1987) cita valores entre 2,0 e 5,0 mg/l para as águas do embasamento cristalino de Ghana (África) e cogita derivarem de granitos intrusivos.

TARDY, 1969 (in PARISOT, op. cit.) estudou a composição química das águas subterrâneas de diferentes ambientes cristalinos e observou que a razão rNa/rK pode servir como índice de alteração dos feldspatos, onde os baixos valores correspondem a uma alteração que atinge toda esta classe mineralógica. Este autor correlaciona, ainda, a hidrólise total dos silicatos com meios bem drenados em que as soluções são diluídas, e a hidrólise parcial com meios confinados onde as soluções são mais concentradas.

Em Atibaia, observa-se que a razão rNa/rK para as águas dos poços escavados e tubulares variam entre 0,2 a 2,7 e 1,6 a 23,7, respectivamente, indicando que no manto de intemperismo todos os feldspatos são afetados pela hidrólise, enquanto o mesmo não acontece no meio fraturado. Relacionado a concentração iônica, as águas dos tubulares são mais concentradas.

GARREL (1957) e GARREL & CHRIST (1965) , in MELFI, op. cit., desenvolveram o método termodinâmico para caracterizar os diferentes domínios da hidrólise e através do conhecimento de outros parâmetros, tais como o produto de solubilidade e a constante de equilíbrio das reações, se pode estabelecer diagramas de estabilidade para cada mineral e verificar a relação entre a composição iônica da água e os constituintes mineralógicos das rochas.

A figura 25 mostra que as águas dos poços escavados situam-se no campo da monossilificação, onde através da eliminação parcial da sílica e total de bases se tem a formação da caolinita, como mostra, por exemplo, a reação abaixo

À medida em que a profundidade aumenta, as águas gradam para um domínio da bissialitização, com eliminação parcial de sílica e bases e culminando com a formação da montmorilonita, sericita e vermiculita, que são argilo-minerais mais ricos em sílica.

A tabela 07 mostra que as águas dos poços escavados possuem uma menor concentração de sílica do que as dos poços tubulares e, quando correlacionada ao gráfico de estabilidade, verifica-se uma gradação deste óxido do campo da caolinita para o da montmorilonita cálcica.

Desta forma, tem-se a caolinita e a montmorilonita cálcica como os dois principais argilo-minerais liberadores dos íons principais para as águas subterrâneas de Atibaia.

3.6.3 - Uso das Águas

A qualidade das águas naturais é reflexo da composição físico-química. A adequabilidade para cada uso varia em função da finalidade proposta e dos constituintes que possam afetá-la, existindo diversos padrões com limites sugeridos que procuram reger a utilização para o consumo humano, agrícola e industrial.

Ressalta-se que o objetivo deste trabalho não é, especificamente, a hidroquímica e, por esta razão, alguns elementos e parâmetros não foram analisados, tais como dureza e alcalinidade, bem como as características bacteriológicas.

Figura 25 — Diagrama de estabilidade do sistema CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O à 25°C e 1 atm.

AMOSTRA (Nº DE ORDEM/ ORIGEM)	Ca++ eq/g	pH	Log [Ca++]+2pH	SiO ₂ (mg/l)
50 C	$3,0 \times 10^{-4}$	5,1	6,7	7,1
71 C	$2,2 \times 10^{-4}$	5,0	6,3	16,7
72 C	$9,2 \times 10^{-4}$	6,5	10,0	11,6
22 T	$6,3 \times 10^{-4}$	6,0	8,8	37,7
155 C	$4,0 \times 10^{-4}$	5,3	7,2	9,8
20 T	$7,1 \times 10^{-4}$	6,5	9,9	32,9
156 C	$4,6 \times 10^{-4}$	5,6	7,9	34,0
10 T	$7,5 \times 10^{-4}$	7,2	11,3	31,7
157 C	$1,1 \times 10^{-3}$	6,6	10,3	15,6
21 T	$2,8 \times 10^{-4}$	6,3	9,0	52,6
19 T	$4,2 \times 10^{-4}$	6,5	9,6	33,2
14 T	$3,4 \times 10^{-4}$	6,1	8,7	39,4
11 T	$5,2 \times 10^{-4}$	8,1	12,9	29,5
4 T	$1,5 \times 10^{-4}$	6,4	9,0	25,9
36 T	$3,2 \times 10^{-4}$	5,6	7,7	31,4

T = poço tubular

C = poço escavado (cacimba)

TABELA 07- VALORES UTILIZADOS NO DIAGRAMA DE ESTABILIDADE DO SISTEMA CaO, Al₂O₃, SiO₂ e H₂O a 25°C e 1atm.

A seguir serão realizadas algumas considerações quanto a qualidade das águas subterrâneas da região de Atibaia e suas utilizações.

Consumo Humano

Como mostram as tabelas 03 e 04 (páginas 59, 62), no geral estas águas são adequadas ao consumo humano. Com exceção do pH, que pode ser facilmente corrigido, e ao fluor observado no poço tubular Nº 22 (3,0 mg/l), não existe qualquer restrição à potabilidade destas águas no que diz respeito aos elementos analisados.

Um fato que deve ser ressaltado é a cultura de morangos e rosas na região que chega a ocupar um espaço geográfico considerável, sendo a utilização de agrotóxicos bastante difundida. É possível que esteja ocorrendo, ou que venha a ocorrer, uma migração de elementos nocivos a saúde para o lençol freático alterando as condições naturais das águas subterrâneas. O quadro 02 mostra alguns dos produtos utilizados através da pulverização que ocorre de abril a dezembro e é feita uma vez por semana em cada plantio (informação verbal de produtores de morangos e rosas da região). Não dispomos de análises de águas onde tenha sido considerado os elementos componentes dos agrotóxicos e pesticidas, portanto o risco permanece potencial.

Uso Agrícola

A qualidade das águas a serem utilizadas na agricultura deve ser analisada em conjunto com fatores agronômicos, tais como permeabilidade e tipo de solo, culturas a serem implantadas e métodos de irrigação, entre outros.

A maneira mais simples e direta de se obter indicações da possibilidade de utilização de determinada água para a irrigação é verificando-se o "risco de sódio", referente a

PRODUTO	CLASSE TOXICOLÓGICA	SINTOMAS	ANTIDOTO/ TRATAMENTO
TAMARON - Inseticida/Acaricida - Organofosforado sistêmico	CLASSE I - Altamente tóxico	Fraqueza, dor de cabeça, opressão no peito, visão turva, náuseas, pupilas não reativas, diarreias e cólicas abdominais	Não existe antídoto específico. Tratamento: Sintomático a critério médico.
FOLIDOL - Inseticida/Acaricida - Organofosforado sistêmico	CLASSE I - Altamente tóxico	Fraqueza, dor de cabeça, opressão no peito, visão turva, náuseas, pupilas não reativas, diarreias e cólicas abdominais	
ORTHO - HAMIDOL - Inseticida/Acaricida - Organofosforado sistêmico	CLASSE I - Altamente tóxico	Fraqueza, dor de cabeça, opressão no peito, visão turva, náuseas, pupilas não reativas, diarreias e cólicas abdominais	
VERMITEC - Inseticida/Acaricida	CLASSE I - Altamente tóxico	Mudança de coordenação muscular, tremores, etc.	
OMITE - Acaricida	CLASSE II - Medianamente tóxico	Fadiga, diarreia, manchas sangüinolentas na pele, sonolência e depressão.	
SAPROL - Fungicida	CLASSE II - Medianamente tóxico	Fadiga, diarreia, manchas sangüinolentas na pele, sonolência e depressão.	
CERCONIL - Fungicida	CLASSE III - Produto tóxico	Dor de cabeça, náuseas, etc.	
MICROZOL - Fungicida/Acaricida	CLASSE IV - Pode ser tóxico	Náuseas, vômitos, dor de cabeça, diarreias, etc.	

FONTE: Bulas dos produtos.

QUADRO 02 - CARACTERÍSTICAS DOS AGROTÓXICOS UTILIZADOS NA REGIÃO DE ATIRAIA (SP)

proporção relativa de sódio para com outros cátions, e o "perigo de salinidade". A concentração de sódio é importante, pois ele substitui o cálcio e se estiver em concentração excessiva irá reduzir a permeabilidade do solo (FREEZE & CHERRY, 1979).

Os valores da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) situam-se entre 0,03 e 1,27, média de 0,42, denotando um "baixo risco de sódio". A condutividade elétrica situa-se abaixo de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando "baixo risco de salinidade".

Outros elementos importantes para as plantas como o cálcio, magnésio, potássio e fósforo (EPSTEIN, 1975 in PIUCI, 1978) estão presentes.

Nenhum elemento está em concentração excessiva e, desta forma, face aos elementos analisados não existe qualquer restrição destas águas para o uso na agricultura.

Uso Industrial

A utilização das águas nas indústrias é regida por padrões que associam o tipo de atividade com os elementos que nesta encontram restrição. Padrões com limites de tolerância para vários tipos de indústrias são mostrados por TODD (1959), LOGAN (1965), CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), MATTHESS (1982), DRISCOLL (1986) e SZIKSZAY (1986).

Alguns elementos das águas subterrâneas estudadas estão em concentrações elevadas e impedem a utilização direta generalizada na área industrial, tais como:

TEXTEIS: o cálcio possui concentração acima do limite recomendado (10 mg/l) em seis amostras (40%), sendo duas de poços escavados e quatro de tubulares.

CALDEIRAS: águas com alto conteúdo de sais, particularmente aqueles que influenciam na incrustação e corrosão, devem ser evitadas. A concentração de sílica entre 7,1 e 4,0 mg/l está presente em 93,3% (14 amostras) e isto desaconselha a utilização direta dessas águas para caldeiras com pressão acima de 10 kg/cm² (LOGAN, 1965).

O bicarbonato varia de 26,2 a 109,8 mg/l, quando o limite máximo aconselhável é de 20 mg/l. O pH apresenta-se com valor abaixo de 7,2 em 93,3% das amostras analisadas e o limite mínimo para utilização em caldeiras é de 8,0 (LOGAN, op. cit.).

A composição iônica da água não pode deixar de ser levada em consideração no dimensionamento da tela do poço, já que estas são bastante susceptíveis ao ataque eletrolítico e a incrustação.

As águas subterrâneas de Atibaia são, no geral, um pouco ácidas. O gás carbônico livre é uma medida de acidez e é comumente utilizada como indicador das propriedades corrosivas da água e, como regra aproximada, a concentração dele deve ser menor do que 10 mg/l em águas brandas e abaixo de 15 mg/l em águas duras, caso se quera evitar séria corrosão (LOGAN, op. cit.). Nas águas analisadas, os valores encontrados situam-se entre 15,4 e 58,3 mg/l.

Os outros elementos não possuem concentrações excessivas para o uso industrial.

4 - AVALIAÇÃO DAS OBRAS DE CAPTAÇÃO

4.1 - Estado Atual da Tecnologia no Setor

A exploração das águas subterrâneas na região em estudo é feita, basicamente, através de poços tubulares e escavados. Nas áreas de maiores altitudes (acima de 830 m), as fontes de contato são exploradas e auxiliam frequentemente no abastecimento doméstico, escolas e fazendas.

Foram cadastradas 12 fontes e observa-se que somente em duas existem tanques de captação, sendo que no geral, a captação é feita através de vasilhames. A mais conhecida delas é denominada de "Mina do SAEE", situada a sudeste da área. O volume d'água explorado, segundo informações verbais, é de 108 m³/h, sendo esta água previamente tratada e posteriormente distribuída para pequenas comunidades e escolas dos bairros dos Alpes, Refúgio, Retiro das Fontes e Flaboyant.

Poços Escavados

São também denominados de poços rasos, abertos, cacimbas ou caipiras, tendo sido cadastrados 157 deles em campo.

A população rural da região é significativa e na falta de um sistema de abastecimento d'água, ou de drenagens perenes que permitam uma captação superficial, o meio mais rápido para se conseguir água é através do poço escavado. Apesar da existência preponderante de rochas cristalinas, existe um manto de alteração com espessura de até 60 metros, o que facilita a construção desses poços.

Eles são construídos manualmente, no geral por uma dupla de homens denominados de "poceiros", e a profundidade oscila em função do nível estático, chegando a 32 metros, porém

predominando o intervalo de 4,0 a 7,0 metros com 36 %, sendo que 70 % deles possuem no máximo uma profundidade de 10 metros (Figura 26).

Devido ao fato dessas obras serem feitas por pessoas de baixa renda, não é comum a utilização de compressores ou bombas para a retirada d'água à medida que a escavação aprofunda e, conseqüentemente, ela tem que parar a poucos metros (em média entre 1,0 e 2,0 m) abaixo do nível estático. A análise da profundidade do poço e do nível estático permitiu a elaboração da figura 27, mostrando que existe uma coluna d'água que atinge até 12,5 metros, predominando a altura entre 2,0 e 3,5 metros com 38 %, seguida dos intervalos de 0,5 a 2,0 m e de 3,5 a 5,0 metros com 24,7 % e 22,7 % respectivamente.

A completação do poço é realizada com tubos pré-moldados de concreto, com diâmetro de 1,0 metro e comprimento de 0,5 metros, ou com tijolos; porém, o primeiro é mais utilizado em função do menor custo, maior rapidez de colocação e maior estabilidade da parede do furo.

A água é retirada com balde (em mais de 90 % dos poços) com o auxílio de corda e roldana, ou através de bomba submersa.

Estas obras são, no geral, isentas de qualquer norma técnica de locação e completação. As bocas dos poços geralmente estão ao nível do terreno, as tampas são mal colocadas e de 30-40% das vezes elas não existem, não possuem lajes de proteção e é comum se observar a lavagem de roupas e outros afazeres domésticos sendo realizados à boca do poço. Além disto, existe uma distância mínima entre poço-fossa (entre 2,0 - 4,0 m) fazendo com que as águas subterrâneas estejam a mercê de uma poluição bacteriológica.

Figura 26 - Distribuição de frequência das profundidades dos poços escavados - Atibaia (SP)

Figura 27 - Distribuição de frequência das alturas das colunas d'água dos poços escavados - Atibaia (SP)

Poços Tubulares

Foram cadastrados 79 poços, onde constam aqueles em exploração, desativados e abandonados. A situação atual observada na região é mostrada na tabela 08. .

SITUAÇÃO ATUAL	Nº DE POÇOS	%
Em exploração	54	66,6
Desativados	10	12,3
Abandonados	01	1,2
Não observados	14	19,9
TOTAL	79	100

TABELA 08 - SITUAÇÃO ATUAL DOS POÇOS TUBULARES - ATIBAIA (SP).

Desta forma, observa-se que 66,6% dos poços da região estão em funcionamento. Os poços desativados representam aqueles que já estiveram em uso mas, por razões diversas, hoje estão parados; os abandonados são aqueles que nem sequer foram instalados e os não observados são os poços que foram localizados em campo mas não puderam ser observados, na maioria das vezes devido a ausência do proprietário. Porém, todos estão plotados na base geológica e de pontos d'água (Anexo 03).

Com o crescente desenvolvimento da região e aumento do consumo d'água, as águas subterrâneas são, a cada dia, mais exploradas. A figura 28 mostra que a partir de 1970 teve início o período de maior índice de perfuração de poços,

Figura 28 - Evolução temporal da perfuração de poços tubulares na região

principalmente entre 1975-1980, intervalo de maior assentamento populacional e industrial da região.

Atualmente, as águas subterrâneas são utilizadas para múltiplos fins, como mostra a tabela 09. Observa-se que 50,9% dos poços são utilizados exclusivamente para abastecimento doméstico e que a demanda no campo industrial é significativa com 18,9%.

USO	Nº DE POÇOS	%
Doméstico	27	50,9
Indústrial	10	18,9
Doméstico + hara + granja	08	15,0
Recreação	06	11,4
Floricultura	01	1,9
Abastecimento Público	01	1,9
TOTAL	53	100

TABELA 09 - UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE ATIBAIA - SP

Com o aumento da procura de água subterrânea, o número de empresas operando com perfuração de poços cresceu significativamente. A análise das fichas-técnicas com informações sobre a forma de perfuração, permitiu elaborar a tabela 10, onde se constata o grande leque de empresas atuando na região de Atibaia, com a Jundsondas Poços Artesianos Ltda e Air Lift Ind. Com. S.A. sendo as principais concorrentes, com 20,4 % e 16,7 %, respectivamente, dos poços perfurados.

Além destas, existem também a Saiágua, Rodágua, Bravo, Hidrogesp, Perfurat, Alfa Tokio, Aquater e Iamagata, cada uma tendo perfurado um poço na área estudada.

EMPRESA	Nº DE POÇOS	%
Jundsondas	11	20,4
Air Lift	09	16,7
Politi	07	13,0
Ergo	07	13,0
T. Janer	05	9,2
Geopesquisadora	04	7,4
Tringil	04	7,4
Corner	03	5,5
Supersondas	02	3,7
Falcão & Olsen	02	3,7
TOTAL	53	100

TABELA 10 - PERFURAÇÃO DE POÇOS TUBULARES NA REGIÃO DE ATIBAIA-SP.

Na construção dos poços foram utilizados os métodos de perfuração constantes na tabela 11, onde observa-se que o método à percussão predomina com 73,6 %. Isto reside no fato de que na maioria das vezes, a firma contratada só possui máquinas à percussão.

MÉTODO DE PERFURAÇÃO	Nº DE POÇOS	%
Percussão	39	73,6
Roto-percussor	11	20,8
Rotativo	03	5,6
TOTAL	53	100

TABELA 11 - MÉTODOS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS TUBULARES UTILIZADOS NA REGIÃO DE ATIBAIA-SP.

O método de perfuração mais rápido é o roto-percussor, cujos poços (com profundidade de até 343 m) são perfurados dentro de um intervalo de poucas horas (24 a 72 horas), com um rendimento de perfuração médio de 100 - 150 m/dia.

A medida que está sendo realizada a perfuração, as litologias vão sendo amostradas e descritas para se compor a coluna geológica local. A maioria das empresas procura fazer uma descrição das litologias, muitas vezes extremamente reduzida, porém há ocasiões em que se torna difícil diferenciar as coberturas sedimentares das litologias do manto de alteração.

O diâmetro de perfuração do poço pode, ou não, ser constante, em função das condições geológicas locais e do fator econômico. As tabelas 12 e 13 mostram, respectivamente, o número de diâmetros e os diâmetros utilizados na perfuração dos poços na área em estudo.

Nº DE DIÂMETRO	Nº DE POÇOS	%
01	02	5,3
02	12	31,6
03	15	39,4
04	06	15,8
05	02	5,3
06	01	2,6
TOTAL	38	100

TABELA 12 - NÚMERO DE DIÂMETROS UTILIZADOS NA PERFURAÇÃO DE POÇOS TUBULARES. - ATIBAIA (SP).

Verifica-se que foram utilizados até 6 diâmetros, com predominância do uso de 3 (39,4 %) ou 2 (31,6 %) tipos.

DIÂMETROS	Nº DE POÇOS	%
6	1	2,6
8	1	2,6
8 + 6	1	2,6
8 1/2 + 6	4	10,4
8 1/4 + 6	1	2,6
10 + 6	1	2,6
12 + 6	2	5,2
12 1/2 + 6	1	2,6
12 + 8	2	5,2
10 + 8 + 6	6	15,6
10 + 8 5/8 + 6	1	2,6
12 + 8 + 6	2	5,2
12 1/4 + 8 + 6	1	2,6
12 + 9 1/2 + 6	1	2,6
14 + 10 + 6	1	2,6
15 + 8 + 6	1	2,6
16 + 8 + 6	1	2,6
16 + 14 + 6	1	2,6
10 + 8 + 7 + 6	1	2,6
12 + 10 + 8 + 6	2	5,2
14 + 12 + 8 + 6	2	5,2
14 + 12 + 10 + 6	1	2,6
14 + 12 + 10 + 8 + 6	1	2,6
16 + 13 + 10 + 8 + 6	1	2,6
20 + 15 + 12 1/4 + 10 + 8 + 6	1	2,6
TOTAL	38	100,0

TABELA 13 - DIÂMETROS UTILIZADOS NA PERFURAÇÃO DE POÇOS TUBULARES
NA REGIÃO DE ATIBAIA - SP.

Observa-se que em 94,7 % dos poços com registro de perfuração foram utilizados mais de um diâmetro. Invariavelmente, todas atravessam o manto de intemperismo e terminam na rocha sã, e o diâmetro mais utilizado na fase terminal é o de 6" (94,4 %), seguido pelo de 8" (5,6 %). O diâmetro final é o diâmetro útil da câmara de bombeamento.

O revestimento do poço tem por função básica evitar o desmoronamento das paredes do furo e, na medida do possível, impedir a entrada de águas superficiais ou de infiltrações rasas, ou de qualquer outro fluido, para o aquífero. Na região de Atibaia ele é restrito no manto de intemperismo, penetrando na rocha sã (em média de 1,0 e 2,0 m) somente para cravar e dar estabilidade à tubulação.

Observa-se que os poços com um revestimento predominam com 80,6 %, seguido daqueles que possuem dois tipos (17,8%), como ressalta a tabela 14. Referente ao tipo de tubo utilizado, as informações procedentes de 33 fichas técnicas mostram que os tubos de aço galvanizado predominam em 78,8 % dos poços, enquanto que em 18 % foram utilizados tubos de aço preto liso e um poço foi revestido com tubos de PVC. Nas fichas não constam dados de espessuras dos tubos.

O filtro, ou tela, é um elemento importante para o poço locado em rochas friáveis. Ele tem a função de suportar a pressão exercida pelas camadas adjacentes e permitir a passagem máxima de água, sem que haja penetração de partículas arenosas para o interior da obra.

DIÂMETRO (")	Nº DE POÇOS	%
6	31	51,0
8	15	24,7
10	1	1,6
12	2	3,3
9 1/2 + 6	1	1,6
10 + 6	1	1,6
10 1/4 + 6	1	1,6
12 + 6	4	6,6
12 + 3/4 + 6	1	1,6
12 + 8	1	1,6
14 + 6	1	1,6
14 + 8	1	1,6
12 + 8 + 6	1	1,6
TOTAL	61	100,0

TABELA 14 - DIÂMETROS DE REVESTIMENTO DOS POÇOS TUBULARES - ATIBAIA (SP)

Nos poços da área, o filtro fica restrito às zonas intemperizadas e/ou muito fraturadas, sendo que somente seis fichas acusam o uso de filtro e todos posicionados no manto de alteração, sem que conste o tipo ou o material de fabricação do filtro.

Quanto ao pré-filtro, existem referências em dez fichas de poços quanto a utilização do pré-filtro artificial do tipo Jacareí (areias com granulometria de 2 a 3 mm, da região de Jacareí - Vale do Paraíba).

No geral não existe nenhum estudo de reconhecimento hidrogeológico direto (através de sondagens mecânicas de reconhecimento) ou indireto (através de métodos geofísicos) antes da locação e perfuração dos poços tubulares na região estudada.

As profundidades dos poços são extremamente variáveis, indo de 36 a 343 metros (Figura 29), com o intervalo de 100 a 150 metros predominando com 37 %. Ressalta-se que a perfuração no manto de intemperismo pode alcançar 60 metros.

Relacionado ao equipamento de bombeamento, observa-se que de 49 poços, em 75,5 % são instaladas bombas submersas, 22 % possuem bombas injetoras e somente um poço é explorado através de compressor a ar comprimido. Não existe uma correlação entre tipo de equipamento e vazão instalada.

Sobre o regime de exploração dos poços, existe uma variação desde 1,0 até 20,0 horas/dia em função do uso destinado, porém 80 % deles são operados somente horas algumas por dia (2 - 5 horas).

A cimentação, a laje de proteção e a tampa do poço são aspectos importantes no que diz respeito a proteção sanitária.

A cimentação procura assegurar maior proteção sanitária, impedindo infiltrações de fluidos superficiais ao longo do espaço anular ou da parte externa do tubo de revestimento, ou, se necessária, isolando formações aquíferas que contenham água de má qualidade. Das fichas dos poços cadastrados, somente em seis existem referências a este processo.

A laje de proteção, como ressalta o próprio nome, protege a obra e, conseqüentemente, o aquífero contra a infiltração direta de águas superficiais ou de quaisquer outros fluidos. No geral, os poços da região não a possuem e, quando esta existe, não obedece o que preceitua a ABNT (1977) como mostra a Foto 01 (página 13).

Figura 29 - Distribuição de frequência das profundidades dos poços tubulares

Após a instalação do equipamento de bombeamento, a boca do poço deve ser protegida por uma tampa, geralmente de ferro, fixada por qualquer processo, para evitar qualquer ato depredativo contra o interior da obra e, conseqüentemente, evitar uma ação nociva às águas subterrâneas. Na região em estudo, 82 % do poços tem esta tampa aparafusada ou soldada diretamente ao revestimento e em 18 % ela está mal fixada, deslocada da posição ideal.

4.2 - Considerações e Recomendações

As considerações e recomendações ora realizadas são baseadas no conhecimento da situação de locação, perfuração e completação de poços na região de Atibaia, através do cadastro de 79 poços tubulares e 157 poços escavados.

Poços Escavados

A quantidade significativa desses poços na área mostra a importância que eles representam para a população, principalmente na zona rural onde não existe nenhum sistema de abastecimento de água.

O volume estocado no poço supre normalmente a demanda doméstica requerida, no geral sempre abaixo de 2,0 m³/dia. Os testes de bombeamento com duração de 4 horas realizados em cacimbas da região corroboram esta afirmação, mostrando que elas possuem vazões da ordem de 1,0 m³/h, satisfazendo, desta forma, o consumo de água a nível doméstico.

O custo dessas obras, em comparação com o dos poços tubulares, é irrisório e isto faz com que elas sejam bastantes difundidas e utilizadas. É comum a existência de cacimbas ao lado do poço tubular, as quais muitas vezes funcionam como fonte complementar de abastecimento d'água, a exemplo do que acontece no sítio Santinha (poço tubular nº 22 e cacimbas nº 71/72) e chácara Sion (poço tubular nº 21 e cacimba nº 157).

Os maiores problemas encontrados nessas obras estão relacionados a locação, tampa e laje de proteção do poço.

A comunidade rural além de não possuir um sistema de abastecimento d'água, também não possui um sistema de esgoto.

Para o primeiro, a cacimba é a alternativa mais utilizada e, para o segundo, a fossa é o meio mais usual de disposição de efluentes.

Como normalmente o espaço físico é limitado, a distância entre a fossa e a cacimba é mínima, dificilmente obedecendo o espaço de 15 a 30 metros sugerido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1977) e, conseqüentemente, existindo o risco potencial de uma poluição bacteriológica para as águas subterrâneas. DUARTE & KANEHISA (1986) enfocam muito bem a problemática existente entre poços rasos e fossas, com exemplos reais e avaliação técnica através das normas existentes.

No geral, de 30 a 40 % das cacimbas da região não possuem a tampa de proteção (ou de vedação) e quase sempre que a possuem, ela é constituída de pedaços de madeira que ficam mal assentados, deslocados, criando espaços que permitem a introdução de objetos e até mesmo de pequenos animais e insetos para dentro do poço, colocando em risco a qualidade da água.

O recomendável neste caso, é que se utilize tampas pré-moldadas de concreto, porém não fixas permitindo o deslocamento quando necessário, com um espaço central aberto para permitir a instalação da bomba ou descida de baldes para retirada d'água. Quando se utilizar tampa de madeira, é importante que ela seja feita de madeira sólida e que abranja totalmente a boca do poço.

A boca do poço deve ser elevada acima da superfície, no mínimo 50 cm, evitando infiltração de águas superficiais e acidentes maiores, como a queda de animais.

Não existe praticamente nenhum poço que possua laje de proteção, salvo raríssimas exceções, favorecendo a infiltração direta de águas pluviais ou de limpeza, já que inúmeras vezes se verifica a lavagem de roupas e outros afazeres domésticos à boca do poço.

É necessária a laje de proteção feita de concreto, fundida no local, e distribuída simetricamente em torno do poço. É aconselhável que possua uma espessura mínima de 10 cm, abranja uma distância mínima de 1,0 metro à partir da parede da obra e que possua uma pequena declividade (1 - 2%) permitindo que a água que ali circule, escoe para fora do poço.

Por falta de esclarecimentos, muitas vezes as cacimbas abandonadas são utilizadas como depósitos de lixo e até mesmo como fossas. É imprescindível que exista um programa de conscientização e fiscalização para se evitar estes atos que colocam em risco os aspectos qualitativos das águas subterrâneas pois, ao mesmo tempo em que são poluídas, são também exploradas para abastecimento doméstico.

Apesar da condutividade hidráulica do manto de alteração ser baixa (10^{-3} a 10^{-5} cm/s), ele possui espessuras que chegam a 60 metros, predominando o intervalo de 20 - 40 m (68 %) e isto faz com que a transmissividade seja considerável, o que nos leva a recomendar que ele seja muito mais explorado visando a captação das águas subterrâneas.

Quando for requerida maiores demandas, outros tipos de captações podem ser feitas como, por exemplo, poços amazonas e coletores (com ponteiros ou drenos radiais). Todos são construídos manualmente, com utilização de tecnologia e acompanhamento técnico especializado, e com expectativas de vazões de até 5 m³/h para o poço amazonas e maiores do que 20m³/h para os poços coletores.

O Japão e a África vêm utilizando poços coletores, no embasamento cristalino com manto de intemperismo, com grande sucesso (WRIGHT & HERBERT, 1985). Em Zimbábue e Sri Lanka (África) foram construídos poços com profundidade de 10 a 14 m,

diâmetros de 3 m, com 5 ou 6 ponteiros radiais de aproximadamente 30 m cada, lâmina d'água de 5 a 10 m e geraram vazões de 5,4 a 13 m³/h por ponteira.

Poços Tubulares

Um poço é uma obra de engenharia construída a partir de um projeto básico que envolve o conhecimento das características hidrogeológicas e da qualidade da água. A construção da obra, associada a uma criteriosa seleção do material a ser empregada, tem por objetivo o bom funcionamento mecânico, maior vida útil do poço e que permita a exploração das águas subterrâneas a uma razão custo "versus" benefício considerável.

Basicamente, para construir um poço tubular tem que se levar em consideração os aspectos técnicos de locação, método de perfuração, diâmetro(s) de perfuração, revestimento(s), filtros, pré-filtro, profundidade e desenvolvimento da obra.

Quando se trata da locação do poço em meio urbano não dá para se estabelecer um critério técnico em virtude da escassez de espaço, e esta fica vinculada estritamente a localização da demanda. É o que acontece em 90 % dos casos na região de Atibaia, a exemplo de quase todas as fábricas e chácaras de recreio.

Porém, existem ocasiões em que predomina o desconhecimento do aspecto técnico e a locação é feita em locais não desejáveis, a exemplo dos poços perfurados em divisores d'água (sítio Janaina, poços nº 9/10; sítio Caiocara, poço nº 16; Loteamento Santa Maria, poço nº 28), resultando em grandes profundidades (acima de 200 m) e ínfimas vazões (0,25 - 1,6 m³/h), sempre muito abaixo do desejado; além desses, existem também poços situados muito próximos a fossas e lagoas.

O recomendável é se fazer uma avaliação hidrogeológica prévia para se definir o melhor local para a perfuração do poço. Pertinente a distância em que ele deverá ficar das obras e instalações em geral, a ABNT (1977) sugere que "o ponto preciso de perfuração do poço deverá ficar afastado de obras e instalações, com as seguintes distâncias mínimas em planta:

- a) Prédios e estruturas em geral, escavações, galerias e canais: 5 m;
- b) fossas sépticas, canalizações de esgoto, unidade para tratamento de esgoto: 15 m;
- c) privadas secas, fossas negras, linhas de irrigação sub-superficial, lagoas e valos de oxidação, esterqueira: 30 m."

Um aspecto que deverá ser observado na locação é o posicionamento do poço em relação as culturas de morango e rosas, altamente difundidas na região. Muitas vezes ela é feita muito próximo à plantação, ou abaixo topograficamente, ficando o poço exposto a migração de pesticidas e agrotóxicos utilizados na irrigação.

Um aspecto importante durante a perfuração do poço é a amostragem das litologias, pois este procedimento permite a composição da coluna geológica local, estabelecimento de posicionamento dos filtros, verifica a necessidade e dimensionamento da granulometria do pré-filtro artificial e diz o momento em que se deve parar a perfuração.

Dos métodos empregados, o percussivo permite a obtenção de amostras bastante representativas, enquanto que o rotativo e, principalmente, o roto-percurssor exigem um redobrado cuidado em função da velocidade de perfuração.

O projeto do poço deve estimar o diâmetro e a espessura da parede dos tubos de revestimento, considerando-se o diâmetro da perfuração, vazão prevista e diâmetro útil da bomba a ser instalada. A análise físico-química da água a ser explorada é sempre aconselhável, para a escolha do material de revestimento e equipamento de bombeamento.

Observa-se que a vazão explorada na região é geralmente inferior a 10 m³/h, portanto, compatível com o diâmetro final de 6" que predomina com 51 %. Acima deste, na extração de água por meio de bombas submersas ou bombas de eixo prolongado, existirá um superdimensionamento do diâmetro útil da câmara de bombeamento do poço, pois será prevista uma vazão explorável superior a 40 m³/h (ABNT, 1977).

Comumente, o projeto de poços tubulares na área de estudo não prevê a utilização do aquífero manto de intemperismo, sendo ele totalmente revestido. O raciocínio utilizado é de que estas águas não se prestam ao uso, principalmente ao consumo humano.

Porém, verifica-se o efeito "cachoeira" nos poços, mostrando que existe contribuição das águas do manto de intemperismo para o poço. Ainda, nos piezômetros multiníveis instalados somente no manto de alteração, monitorando poços tubulares, constatou-se que existe a transferência efetiva das águas subterrâneas do manto para o meio fraturado e, desta forma, fica bastante claro que o revestimento utilizado não evita a exploração das águas do manto de intemperismo.

Portanto, recomenda-se que o uso do revestimento não seja feito indiferentemente, mas que haja uma descrição geológica das amostras visando a colocação de filtros nos níveis mais permeáveis, propiciando, conseqüentemente, maiores vazões. Como

o material intemperizado é bastante fino, impossibilitando a formação de um pré-filtro natural, é recomendável a utilização de pré-filtro artificial.

As maiores profundidades dos poços da região estão associadas ao desconhecimento das condições hidrogeológicas locais e a crença de que quanto maior a profundidade, maior a possibilidade deste ter boa vazão. Exemplo desse pensamento são os poços com profundidades entre 200 a 350 metros perfurados em divisores d'água, que no final apresentaram vazões abaixo de 1,7 m³/h ou são praticamente secos.

Observa-se que 80,5 % dos poços foram perfurados em cotas abaixo de 810 m e possuem profundidades inferiores a 180 metros. Como as fraturas (entrada d'água) encontradas localizam-se predominantemente no intervalo de 24 a 102 m (62 %), é recomendável que a perfuração de poços na região, sem um prévio estudo hidrogeológico, seja realizada em altitudes inferiores a 810 metros e que a profundidade não ultrapasse 150 metros.

A predominância do uso de bombas submersas (75,5 %) é função do menor custo de instalação, menor consumo de energia e a extrema valia no caso dos grandes rebaixamentos observados nos poços estudados.

A ABNT (op. cit.) preconiza que todo poço deverá ser dotado de uma laje de proteção com área mínima de 3 m², espessura não inferior a 10 cm e capaz de suportar, sem apresentar trincas, os equipamentos que sobre a mesma foram instalados. Na região observa-se que raramente existe esta proteção e isto facilita a infiltração de águas superficiais e, portanto, contribui para a poluição das águas subterrâneas. É importante que esta laje seja assentada, minimizando o risco de infiltração de águas sujas para o aquífero.

Os poços desativados ou abandonados geralmente são vistos com negligência e não possuem qualquer sistema de proteção (Foto 05), deixando um sistema de veiculação direta entre superfície e águas subterrâneas. Isto faz com que o aquífero fique a mercê da atitude de cada um, podendo o furo não ser notado ou ser um incentivo a utilização como depósito de lixo, causando um dano irreparável ao potencial hídrico subterrâneo.

FOTO 05 - Poço tubular abandonado, sem nenhum sistema de proteção, com profundidade de 180 metros e vazão de $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Está situado em divisor d'água com altitude de 860 metros.

LOCAL - Loteamento Santa Maria - Atibaia (SP).

5 - PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE ESTUDO

A pesquisa hidrogeológica em terrenos cristalinos com manto de intemperismo vem sendo cada vez mais necessária à medida em que o espaço físico é ocupado e cresce a demanda hídrica subterrânea.

Porém, os trabalhos desenvolvidos ainda se resentem de uma metodologia de estudo vinculada aos aspectos específicos deste contexto onde, muitas vezes, as diretrizes adotadas provêm de estudos em áreas diferentes, embora precambrianas, a exemplo do nordeste brasileiro onde as condições climáticas não propiciam condições de desenvolvimento do manto de alteração.

Desta forma, procurando contribuir para a pesquisa hidrogeológica e baseando-se no trabalho ora realizado, é que propõe-se uma metodologia de estudo hidrogeológico para este meio, obedecendo a seguinte sequência:

a) Cadastro de informações

Esta fase busca integrar as informações existentes sobre a área de estudo, realizando o levantamento do acervo bibliográfico para compreender os aspectos fisio-climáticos, geológicos, estruturais e hidrogeológicos.

É necessária a aquisição de mapas planialtimétricos, geológicos e hidrogeológicos existentes, em escalas diversas, a fim de se fazer a integração para o estudo regional e local, definindo a escala de trabalho.

O cadastro de poços tubulares nos órgãos públicos e empresas particulares que operam com perfuração é imprescindível. Neste cadastro deve constar dados de nível estático, nível dinâmico, vazão, profundidade do poço, características

hidrodinâmicas do aquífero, perfil litológico, dados construtivos e localização da obra de captação, bem como as análises físico-químicas e bacteriológicas.

Fotografias aéreas, ou imagens de satélite, em escalas compatíveis com o trabalho devem ser adquiridas, pois a interpretação deste material possibilitará condições vantajosas para o desenvolvimento do estudo.

b) Interpretação fotogeológica e etapas de campo

Em virtude das suas características litológicas, o cristalino possui baixíssima porosidade intergranular e a pesquisa hidrogeológica restringe-se às zonas fraturadas. Porém, sob o clima úmido esta configuração é alterada, pois as condições climáticas favorecem o desenvolvimento de um manto de intemperismo significativo, com porosidade intergranular, capaz de funcionar como meio aquífero poroso.

Diversos trabalhos mostram a importância da interpretação fotogeológica no estudo de águas subterrâneas em regiões cristalinas, a exemplo de SETZER (1964, 1966) e GONÇALVES (1978), sendo que este método visa, basicamente, mapear falhas e/ou fraturas, fatores essenciais para a existência de água neste contexto. Em regiões com manto de intemperismo este trabalho é dificultado, pois ele mascara estas estruturas, sendo necessária fases de campo para confirmação do mapa foto-interpretado e levantamento de novos dados.

As seguintes etapas de campo devem ser programadas:

- 1ª) Geologia de Campo;
- 2ª) Cadastro de pontos d'água;

3ª) Coleta de amostras de águas subterrâneas para análises físico-químicas e, se necessária, bacteriológicas;

4ª) Sondagens (diretas e indiretas) para o estudo do manto de intemperismo e meio fraturado.

Geologia de Campo

Nesta fase deverá ser realizada a verificação das informações geológicas contidas no mapa elaborado em escritório, à partir dos mapas cadastrados e da interpretação fotogeológica.

É aconselhável tomar-se medidas de fraturas, sendo estas realizadas em afloramentos diversos, por litologia, se caracterizando os graus de abertura, interconecção e tipo de preenchimento das fraturas, caso exista. Estes dados facilitarão o entendimento do fluxo subterrâneo e o trabalho de locação de poços.

O fraturamento não é condição exclusiva para a existência de água. Situações diversas são encontradas em perfurações de poços, onde muitas vezes se tem um grande número de fraturas, porém a vazão é praticamente nula face a inexistência de zonas de alimentação para o meio fraturado, como ilustra a figura 30, onde em princípio existe um poço no cristalino são, com vazão insignificante ou mesmo seco, e gradativamente vai se observando fraturamento, interconecção de fraturas e zona de recarga para que, finalmente, se tenha a melhor condição para a locação do poço.

Os aspectos litológicos não podem ser negligenciados, pois servirão de suporte básico para explicação do perfil de alteração, quando estudados sob o ponto de vista mineralógico e correlacionados a série de estabilidade de GOLDICH (1938) e

Figura 30 - Situações encontradas na perfuração de um poço no contexto cristalino (DUARTE 1985)

evolução da composição iônica das águas subterrâneas. Além disso, as rochas competentes quando fraturadas tem maior probabilidade de terem fraturas abertas.

As feições estruturais que se estabeleceram no regime frágil de deformação são as que mais interessam para a pesquisa hidrogeológica, principalmente as fraturas pós-cristalinas, dentre as quais, as abertas são as mais relevantes.

Porém, em áreas cristalinas sob clima úmido o intemperismo promove a decomposição das rochas, principalmente em zonas de falhas e/ou fraturas, fazendo com que todas elas sejam, em potencial, passíveis de serem boas produtoras de águas subterrâneas.

A congruência de fraturas com a rede de drenagem é uma condição favorável ao armazenamento potencial de águas subterrâneas. Desta forma, é aconselhável que se tenha um mapa de drenagem para que, superposto ao mapa de fraturas, se tenha um dimensionamento dessas zonas; ainda, a integração fratura com drenagem indicará as áreas com maiores espessuras do manto de intemperismo e, conseqüentemente, com maiores possibilidades de acumulação de águas.

A configuração do relevo é importante. Verifica-se que inúmeras vezes a procura de água se dá exatamente nos divisores hidrográficos, locais menos propícios à perfuração de poços, e a pesquisa hidrogeológica deve ficar predominantemente localizada em áreas de descarga.

Cadastro de Pontos d'Água

A partir do levantamento das fichas técnicas dos poços tubulares realizado anteriormente, será programada uma fase de campo para se verificar a acuracidade das informações obtidas e/ou a necessidade de novos dados.

Como a pesquisa está sendo realizada em domínio cristalino com manto de intemperismo, torna-se necessário o cadastro dos poços escavados e isto só pode ser realizado no campo. As informações sobre estes poços servirão para uma melhor caracterização do manto de alteração, tanto sob o aspecto de armazenamento quanto da qualidade das águas.

Concomitantemente, se poderá realizar medidas de nível estático, pH e condutividade elétrica que ajudarão a definir as características das águas e definir os poços a serem amostrados para análises físico-químicas e para a realização de testes de bombeamento.

É aconselhável tomar-se anotações sobre os equipamentos de bombeamento, condições de exploração, uso da água, manutenção, operação e profundidade do poço.

Coleta de amostras de águas subterrâneas para análises físico-químicas.

Após a realização das etapas anteriores, com definição do arcabouço geológico e estrutural da área de estudo, rede de drenagem, zonas de recarga e descarga e distribuição espacial dos poços e fontes cadastrados, poderá ser iniciada a coleta d'água para análise físico-química e, se necessária, bacteriológica.

Os pontos amostrados deverão ser criteriosamente selecionados com relação ao meio que será analisado (manto de intemperismo ou fraturado), litologia e posicionamento em relação a fraturas e área de descarga/recarga. O cadastro dos poços em campo cria esta possibilidade e a compreensão dos resultados obtidos tornar-se-á mais fácil, pois existirá uma correlação direta com os fatores que influenciam nos resultados.

Sondagens

Em quase todos os estudos hidrogeológicos já realizados em terrenos cristalinos com manto de intemperismo é comum se observar a generalização dos parâmetros químicos ou hidrodinâmicos, geralmente adotados como pertencentes ao meio fraturado.

Porém, verifica-se que estes dois meios hidrogeológicos são distintos, tanto em termos de potencial de armazenamento quanto de qualidade das águas subterrâneas, e que a generalidade não pode existir, pois implicará em sérios erros de interpretação.

Para definição da espessura do manto, pode-se utilizar métodos geofísicos (eletro-resistividade ou eletro-magnético). Porém, se nas fichas técnicas dos poços tubulares constar informações sobre a profundidade do revestimento (que é utilizado somente no manto), tem-se os dados das espessuras reais da zona alterada e se a distribuição espacial dos poços for considerada boa não é necessário a utilização da geofísica.

Com as informações sobre os poços escavados se poderá selecionar os que servirão para testes de bombeamento, a fim de caracterizar hidrodinamicamente a zona alterada.

Para verificar a existência de relação do manto com o meio fraturado, dois procedimentos podem ser utilizados, sendo eles:

- 1º) Caso em que existe poço tubular e escavado muito próximos (distantes até 20 m, dependendo das características do meio geológico): operar o poço tubular e simultaneamente se observar o nível estático dele e do escavado;

- 29) não existindo poço escavado, pode-se implantar piezômetro ou poço de observação ao lado do poço tubular e adotar o procedimento anterior.

Ocorrendo o rebaixamento simultâneo do nível estático dos poços, fica evidente que o manto de intemperismo funciona como aquífero de transferência para o meio fraturado.

Caso seja feita a instalação de poço de observação ou piezômetro no manto de intemperismo a fim de monitorar o poço tubular, é conveniente que a perfuração seja aproveitada e se instale um piezômetro multinível, que poderá caracterizar o nível alterado mais promissor em termos de contribuição de água.

Desta forma, a pesquisa neste contexto segue uma metodologia de estudo que possibilitará a caracterização das zonas aquíferas, e cada etapa servirá de suporte básico para a seguinte.

6 - CONCLUSÕES

A área em estudo possui como principais litologias os gnaisses e migmatitos do Complexo Amparo (55,5 %) e os maciços graníticos de Socorro (23 %) e Atibaia (9 %), secundados pelas aluviões (7,8 %) e coberturas sedimentares (3,9 %).

A foliação principal apresenta direção EW com pequenos mergulhos para SW e SE e foram definidos três conjuntos de dobras, $F_n + 1$, $F_n + 2$ e $F_n + 3$, onde as primeiras são as mais antigas. A região é intensamente fraturada, onde dois sistemas de fraturas predominam, um com direção N50° a 55°E e outro com N45° a 60°W, ambos com mergulhos sub-verticais. A principal falha secciona a área com direção N35°E e representa a continuidade da falha de Extrema.

Foram definidas duas zonas aquíferas, distintas entre si: manto de intemperismo e meio fraturado. A espessura da primeira situa-se, predominantemente, entre 20,0 e 40,0 metros (68 %), porém atingindo até 60,0 metros.

Apesar dos baixos valores que predominam para a condutividade hidráulica do manto (10^{-3} a 10^{-5} cm/s), suas espessuras fazem com que apresente uma média transmissividade, tornando-o potencialmente capaz de produzir boas vazões.

Os níveis estáticos das duas zonas aquíferas mostram que existe uma estreita correlação entre elas, o que reflete uma interação entre as mesmas. As medidas de pH e condutividade elétrica e os piezômetros multiníveis comprovam esta relação, deixando claro que existe transferência das águas do manto de intemperismo para o meio fraturado.

As vazões dos poços tubulares são baixas para o contexto explorado, já que 90 % delas situam-se abaixo de 10 m³/h e destas, 55 % são menores do que 5 m³/h. A capacidade

específica obtida, com mínimo de 2×10^{-3} e máximo de $0,67 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}$, média de $6 \times 10^{-2} \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}$, deve ser utilizada com precaução, pois estes valores foram obtidos de poços tubulares que podem estar captando os dois aquíferos, haja vista que a capacidade específica média obtida para o manto de intemperismo (resultante de somente três testes de vazão) foi de $0,255 \text{ (m}^3/\text{h)}/\text{m}$.

Não observa-se nenhum critério de locação, perfuração e completação dos poços tubulares, sendo que a primeira está essencialmente associada a localização da demanda, e exemplos disto são os poços situados em divisores d'água. A perfuração está ligada a premissa e ao ingênuo desconhecimento de que quanto maior a profundidade, maiores serão as probabilidades de se obter melhores vazões; a complementação carece de maior conhecimento das normas técnicas e de que o manto de intemperismo é uma zona aquífera, que deve ser explorada em sua máxima plenitude.

Um cálculo estimativo das reservas hídricas subterrâneas para as zonas aquíferas porosas mostra que existe um potencial para as reservas renováveis de $92 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e $7,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ para o manto de intemperismo e aluviões, respectivamente, enquanto que as reservas permanentes são de $109 \times 10^6 \text{ m}^3$ para o primeiro e de $11,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ para o segundo. Isto mostra que existe um volume hídrico considerável para ser explorado, através das construções de obras de captação com apoio técnico e científico.

As águas do manto são essencialmente bicarbonatadas cálcicas e as do fraturado são bicarbonatadas mistas gradando para sódicas e cálcicas.

A hidrólise é o principal processo de intemperismo que atua na região, sendo que as águas dos poços escavados pertencem ao campo da monossialitização e as dos tubulares situam-se no

domínio da bissialitização. A caolinita e a montmorilonita cálcica são os dois principais argilo-minerais liberadores dos íons principais para as águas subterrâneas.

os poços escavados são isentos de normas de locação e completção, existindo uma necessidade premente de orientação técnica ao que se concerne principalmente aos aspectos de proteção sanitária.

Existem 67 % dos poços tubulares em exploração, sendo que acima de 50 % deles são utilizados para uso doméstico. É necessária a aplicação das normas legais existentes para que o usuário zele pela obra, preservando o potencial hídrico subterrâneo à medida em que diminui a possibilidade de uma poluição antrópica.

A metodologia utilizada mostrou-se amplamente satisfatória, à medida em que os resultados eram interpretados e correlacionados com os fatores intervenientes, podendo ser adotada para qualquer estudo hidrogeológico desenvolvido neste contexto.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUR, A. C. - 1980 - Rochas metamórficas dos arredores de Itapira - São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto da Geociências da Universidade de São Paulo. Circulação restrita. São Paulo, 193 pp.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - 1977 - Elaboração de projetos de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea. Projeto NB-588/77, Rio de Janeiro, 7 pp.
- BERTACHINI, A. C. - 1987 - Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob o clima úmido na região de Jundiaí, em São Paulo. Dissertação de Mestrado. IG/USP. Circulação restrita. São Paulo, 105 pp.
- BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; DANTAS, A. S. L.; PONÇANO, W. L.; CAMPANHA, G. A. C.; NAGATA, N.; ALMEIDA M. A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S.; CREMONINI, O. A. - 1981 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000. PRÓ-MINÉRIO/IPT. São Paulo. 126 pp.
- CARVALHO, R. A.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B.; VALADARES, J. - 1975 - Levantamento pedológico semidetalhado do município de Atibaia, SP. BRAGANTINA. Vol. 34. Tomo único. São Paulo. pp. 1 - 58.
- CAVALCANTE, J. C.; CUNHA, H. C. da S.; CHIEREGATI, L. A.; KAEFER, L. Q.; ROCHA, J. M. da; DAITX, E. C.; COUTINHO, M. G. da N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J. B. U.; ROSA, D. B.; RAMALHO, R. - 1979 - Projeto Sapucaí, Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais; Relatório Final de Geologia. DNPM/CPRM, Superintendência Reg. de São Paulo, Série Geologia, 5a. Seção Geologia Básica, 299 pp.

CAMPOS NETO, M. C. & BASEI, M. A. S. - 1983 - Evolução estrutural brasileira do nordeste de São Paulo: dobramentos superpostos e esboço estratigráfico e tectônico. Atas do 4º Simp. Reg. Geol., SBG. São Paulo, pp. 61 - 78.

_____; BASEI, M. A. S.; ALVES, F. R.; FIGUEIREDO, M. C. H. - 1984 - Geologia da Folha de Bragança Paulista; 1:50.000. Relatório PRO-MINÉRIO. Convênio SICCT/Pró-Minério e IG/USP, São Paulo, Vol. I, 162 pp.

CAVALCANTE, I. N. - 1978 - Critérios de locação de poços em regiões cristalinas. Seminários Gerais. Curso de Pós-Graduação, IG/USP, Circulação Restrita, São Paulo, 34 pp.

CAVALCANTE, I. N. & REBOUÇAS, A. C. - 1989 - Caracterização hidrogeológica de terrenos cristalinos com manto de alteração. 6º Encontro Nacional de Perfurações de Poços. 2º Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Natal - RN, 12 pp.

CRUZ, W. B. - 1985 - A qualidade da água em rochas fraturadas. I Simpósio Nacional de Águas Subterrâneas em Rochas Fraturadas. ANAIS. ABAS/MG, Belo Horizonte, pp. 40 - 54.

CUSTÓDIO, E. G. & LLAMAS, M. S. - 1976 - Hidrologia Subterrânea. Ed. Omega, Barcelona, Vol. I e II, 2.359 pp.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - SP - 1981 - Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa número 5. CAMPINAS - Vol. 1. São Paulo. 607 pp. Mapas.

DRISCOLL, F. G. - 1986 - Groundwater and Wells. Second Edition. Chapter 6 - Groundwater Chemistry. Johnson Division. pp. 86 - 116.

- DUARTE, W. - 1985 - Avaliação dos critérios de locação de poços em rochas cristalinas. I Simp. Nac. de Água Subterrânea em Rochas Fraturadas. ANAIS. ABAS/MG, Belo Horizonte, pp. 133 - 143.
- DUARTE, U. & KANEHISA, M. S. - 1986 - Captações rasas em zonas urbanas. 4º Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ANAIS. ABAS. Brasília - DF. pp. 237 - 250.
- EBERT, H. & BROCHINI, M. F. - 1968 - Estudos estratigráficos e geomorfológicos no Escudo Cristalino Brasileiro. Rev. Ciência e Cultura, Vol. 20 (3), pp. 621 - 625.
- FETTER JR., C. W. - 1980 - Applied Hydrogeology. Bell & Howell Company, Sidney. 488 pp.
- FONSECA, M. J. G.; SILVA, Z. C. G. da; CAMPOS, D. A.; TOSATTO, P. - 1979 - Carta geológica do Brasil ao milionésimo - folhas Rio de Janeiro (SF. 23), Vitória (SF. 24) e Iguape (SG. 23). Texto explicativo, Brasília, 240 pp..
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. - 1979 - Groundwater. Prentice-Hall Inc. New Jersey. 604 pp.
- GONÇALVES, R. L. F. - 1978 - Critérios fotogeológicos para locação de poços em rochas cristalinas de Minas Gerais. XXX Cong. Bras. de Geologia. ANAIS. Vol. 6, Recife, pp. 2934 - 2942.
- KAY, L. - 1987 - Hydrogeochemistry applied to development of crystalline bedrock aquifers. Proceeding workshop held in Zimbabwe, Harare, Commonwealth Sciences Council, Technical Publication Series, Nº 232, London, 8 pp.
- KRAUSKOPF, K. B. - 1972 - Introdução à geoquímica. Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, Vol. I, 294 pp.

- HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; BISTRICHI, C. A.; STEIN, D. P.; GALVÃO, C. A. C. F.; GIMENEZ, A. F.; ALMEIDA, M. A.; MELO, M. S.; PIRES NETO, A. G. - 1977 - As grandes falhas do leste paulista. Atas do 1º Simp. Geol. Reg., São Paulo, pp. 369 - 380.
- HAMA, N.; ALGARTE, J. P.; KAEFER, L. Q.; ARTUR, A. C. - 1979 - Idades Rb/Sr e K/Ar na região Sul de Minas Gerais e Leste do Estado de São Paulo. Atas do 2º Simpósio de Geologia Regional Rio Claro - SP. SBG, Vol. 1, pp. 71 - 86.
- HEM, J. D. - 1985 - Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of natural Water. U. S. Geol. Survey, Water - Supply paper, Nº 1.473, 269 pp.
- LOGAN, J. - 1965 - Interpretação de Análises Químicas de Águas. USAID, Recife, 67 pp (Brochura).
- MATTHESS, G. - 1982 - The Properties of Groundwater. John Wiley. Sons, Inc., New York, 405 pp.
- MELLO, Z. - 1975 - Formação e deposição das argilas minerais. Curso de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife (Seminário) inédito. 45 pp.
- MELFI, H. J. - 1986 - Geoquímica de Superfície. Curso de Pós-Graduação. IG/USP, São Paulo.
- MORALES, N.; OLIVEIRA, M. A. F. de; SIMÕES, L. S. A. - 1985 - As estruturas dobradas na região de Atibaia (SP). Atas do 5o. Simp. Reg. de Geologia, SBG/SP, São Paulo, Vol. 1. pp. 159 - 168.

- OLIVEIRA, M. A. F.; MORALES, N.; FÚLFARO, V. J.; CAMPOS, E. G. - 1985 - Projeto Atibaia - Geologia da Quadrícula de Atibaia 1:50.000 Relatório Final. Univ. Est. Paulista Júlio de Mesquita Filho. Inst. Geoc. e Ciênc. Exatas, Campus de Rio Claro. Contrato SICCT (PRÓ-MINÉRIO). UNESP, 117 pp.
- PENALVA, F. - 1971 - Sedimentos neo-cenozóicos nos vales dos rios Jundiaí, Atibaia e Jaguari (Estado de São Paulo). Boletim Anual Geografia, SP, Vol. 46. pp. 107 - 138.
- PARISOT, E. H. - 1983 - As Águas Subterrâneas no Centro-Oeste do Município de São Paulo - Características hidrogeológicas e químicas. Dissertação de Mestrado. IG/USP. Circulação restrita. IG/USP. São Paulo. 94 pp.
- PIUCI, J. - 1978 - Hidrogeologia da área piloto Ponta de Pedras - Ilha do Marajó. Dissertação de Mestrado. Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas - Univ. Federal do Pará. Circulação restrita. 143 pp.
- QUIST, L. G. - 1987 - Groundwater utilisation in the precambrian crystalline basement rocks of Ghana. Proceedings workshop held in Zimbabwe, Harare, Commonwealth Sciences Council, Technical Publication Series Nº 232. 14 p.
- REBOUÇAS, A. C. & CAVALCANTE, I. N. - 1988 - Hydrogeology of Crystalline Rocks in Brazil. Groundwater Exploration and Development in Crystalline Basement Aquifers. Harare, Zimbabwe, Africa. Vol. I Series number CSC (89) WMR-13, Technical Paper 273. pp. 103 - 126.
- REBOUÇAS, A. C. - 1988 - Groundwater in Brazil. EPISODES. Vol. 11, Nº 3, pp. 209 - 214.
- SCHOELLER, H. - 1962 - Les Eaux Souterraines. Masson & Cie., Editeurs, Paris. 642 pp.

- SETZER, J. - 1964 - Fraturas observadas em fotografias aéreas e sua significação hidrogeológica. Bol. Soc. Bras. Geologia, Vol. 13, Nº 1 - 2, pp. 55 - 60.
- _____ - 1966 - Água subterrânea no cristalino paulista. Rev. Bras. de Geografia, Nº 3, pp. 3 - 19.
- SCHOBENHAUS FILHO, C; Coord. - 1981 - Carta Geológica do Brasil, 1:2.500.000, DNPM, Brasília.
- SIQUEIRA, L. - 1967 - Contribuição da Geologia à Pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino. Água Subterrânea, Vol. 9. Recife. pp. 1 - 29.
- SILVA, R. B. G. da - 1983 - Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Inédita. 133 pp.
- SZIKSZAY, M. - 1986 - Geoquímica das Águas. Curso de Pós-Graduação. Instituto de Geociências da universidade de São Paulo. São Paulo.
- TODD, D. K. - 1959 - Groundwater hydrology. John Wiley and Sons, Inc. New York, 336 pp.
- WERNICK, E; OLIVEIRA, M. A. F. de; KAWASHITA, K.; CORDANI U. G.; DELHAL, J. - 1976 - Estudo geocronológico pelo método Rb/Sr em rochas do Bloco Jundiaí e regiões adjacentes. Revista Bras. de Geociências/SBG, Vol. 6. pp. 125 - 135.
- WERNICK, E. - 1978 - Contribuição à estratigrafia do Pré-Cambriano do leste do Estado do São Paulo e áreas vizinhas. Rev. Bras. Geoc., vol 8, pp. 206 - 216.

WERNICK, E. & PENALVA, F. - 1978a - Contribuição ao conhecimento das rochas granitóides do Sul do Brasil. Rev. Bras. Geoc., Vol. 8. pp. 113 - 133.

WERNICK, E. e PENALVA, F. - 1978b - O Grupo Pinhal na Região Nordeste do Estado de São Paulo e Áreas vizinhas do Estado de Minas Gerais. Cong. Bras. de Geol., Bol. Esp. pp. 315 - 316.

WRIGHT, E. P. & HERBERT, R. - 1985 - Collector wells in basement aquifers. Waterlines, Vol. 4 nº 2. pp. 8 - 11.

ANEXOS

ANEXO 01

**CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS
TUBULARES DA REGIÃO DE ATI-
BAIA (SP).**

Nº DE ORDEM	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE APROXIMADA (m)*	FIRMA PERFURADORA	DATA DE PERFURAÇÃO	PROFUN- DIDADE (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q (m³/H)	CAP. ESP. (m³/h)/ m	LITO- LOGIA	ESP.DO MANTO DE ALT (m)	FRATURAS a (m)	pH	COND. EL. uS/cm a 25°C
01	Jardim dos Pinheiros	770	Jundsondas	25/09/85	156	15,0	74,0	8,9	0,150	TQc	43,0	84; 146	-	111
02	Granja Boa Vista	810	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	110
03	Ch. São Pedro	780	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	103
04	Ass. Ben. Nosso Lar	770	Air Lift	-/-/65	80	15,0	35,0	3,3	0,165	agn	20,0	-	7,6	57
05	Brasicon	730	Jundsondas	28/05/75	150	6,5	63,0	15,0	0,265	agn	16,0	-	6,6	202
06	Apa Tintas	780	Falcão & Olsen	-	-	15,0	-	-	-	-	-	-	6,2	60
07	Cruzaço	800	Rodágua	-/-/79	191	25,0	90,0	8,0	0,123	agn	30,0	-	6,3	121
08	Duratex	780	Jundsondas	-/12/78	123	0	77,0	4,6	0,059	agn	23,0	-	8,6	151
09	Sítio Janaina	820	Jundsondas	25/05/86	-	8,0	115,0	0,8	0,007	agn	-	-	-	-
10	Sítio Janaina	820	Jundsondas	30/05/86	150	10,0	106,0	0,4	0,004	agn	42,0	-	8,3	176
11	Anhanguera	800	Corner	-/-/73	220	50,0	140,0	3,7	0,041	agn	59,0	220	8,4	133
12	Faz. Planal	750	Geopesisadora	-/-/68	180	4,6	-	-	-	-	-	-	7,9	173
13	Schenectady S/A	740	T. Janer	16/02/76	215	6,7	59,4	13,9	0,263	agn	22,0	110; 140; 195	-	201
14	Schenectady S/A	740	T. Janer	03/03/75	215	9,0	89,8	4,5	0,055	agn	37,8	190; 200	-	200
15	Schenectady S/A	740	T. Janer	11/09/74	150	6,0	42,0	5,1	0,141	agn	39,5	75; 85	-	-
16	Sítio Caloçara	880	Supersondas	25/04/87	144	39,0	123,0	0,4	0,004	sgr	37,5	60; 90; 140	6,5	129
17	Sítio Ressaca	745	Jundsondas	01/11/74	150	-	-	26,0	-	agn	23,0	-	6,7	153
18	Lot. Est. Pq. Atibaia	800	Bravo	-/-/75	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Ch. Dall'Anese	770	Jundsondas	28/11/84	132	+ 0,5	63,0	18,0	0,285	agn	20,6	24; 36; 65; 103	6,5	98
20	Ch. Faim	800	Jundsondas	07/02/86	122	17,0	110,0	0,7	0,007	sgr	31,9	33; 49; 120	7,5	157
21	Sion	790	Jundsondas	02/09/86	120	23,0	91,0	3,6	0,052	agr	38,1	-	6,3	76
22	Sítio Santinha	810	Jundsondas	24/05/86	150	7,0	132,0	1,6	0,012	agn	24,9	88; 144	6,4	99
23	Sítio 2 Filhinhos	800	Jundsondas	27/03/87	142	19,0	85,0	8,0	0,121	agn	48,5	60; 70	6,6	132
24	Sabesp	770	-	03/04/80	160	2,6	106,8	16,0	0,153	agn	22,5	-	-	-
25	T. Osato	750	Air Lift	-/-/79	203	1,2	98,5	2,9	0,029	agn	45,0	203	7,2	134
26	Alimenta S/a	800	Air Lift	27/04/76	220	12,0	120,0	1,3	0,012	agn	33,0	-	-	-
27	Canto do Chico	740	Saiágua	-/15/87	50	2,0	22,5	6,3	0,307	agn	19,3	-	5,8	130
28	Lot. Sta. Maria	860	Supersondas	26/09/87	180	39,0	150,0	0,3	0,002	sgr	45,5	61; 67	-	-
29	Fab. Landroni	770	Falcão & Olsen	-/-/88	-	-	-	3,8	-	-	-	-	7,2	112
30	CESP - Jarinu	780	-	-/-/88	180	-	-	-	-	-	-	-	5,1	15
31	Faz. Pullman	790	-	-/-/72	110	-	49,0	70,0	-	sgr	30,0	-	6,5	162
32	Horto Ivan	770	Geopesisadora	-/-/80	343	-	-	6,5	-	-	-	-	6,5	186
33	Ch. Montes Claros	730	Tringil	-	155	12,9	-	10,0	-	-	-	-	6,5	99
34	Recanto do Pedrão	820	Politi	-/-/77	93	17,5	80,0	1,3	0,020	agn	33,0	49; 88	5,7	91
35	Panzerini	-	-	-	85	-	-	1,5	-	-	-	-	6,3	153
36	Canto da Pamonha	800	Tringil	-/-/80	80	9,5	26,5	6,0	0,352	agn	50,0	-	5,6	88
37	Sítio do Vivi	780	Politi	-/-/78	78	25,0	52,0	0,5	0,018	agn	21,0	-	6,8	155
38	Vale das Flores	820	Corner	-/-/76	133	5,0	85,0	2,4	0,030	agn	40,0	-	5,7	171
39	Granja Iamane	820	-	-/-/60	60	2,6	-	3,0	-	-	-	-	6,3	160
40	Uehara	740	Air Lift	13/02/79	160	3,7	119,0	8,8	0,076	agn	34,0	53; 103; 158	5,3	162
41	Fab. Glória	760	-	-/-/78	36	3,3	19,0	6,5	0,401	agn	-	-	4,6	30
42	Cacique dos Vegetais	760	Air Lift	-/-/75	202	1,5	139,0	7,2	0,052	agn	29,0	93; 148	6,8	143
43	Cacique dos Vegetais	760	Air Lift	-/-/74	126	2,0	89,0	3,2	0,036	agn	39,0	-	-	-
44	Fumest	780	Air Lift	28/03/78	150	1,0	36,0	10,5	0,300	agn	28,0	42; 47; 63; 70; 96	6,2	100
45	Fumest	780	Politi	-/-/84	151	6,0	70,0	8,0	0,125	agn	33,0	-	-	110
46	Mizuno	760	-	-	190	4,0	112,0	5,0	0,046	agn	40,7	-	6,4	125

Nº DE ORDEM	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE APROXIMADA (m)*	FIRMA PERFURADORA	DATA DE PERFURAÇÃO	PROFUNDIDADE (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q (m³/h)	CAP. ESP. (m³/h)/m	LITOLOGIA	ESP. DO MANTO DE ALT (m)	FRATURAS (m)	pH	COND. EL. µ S/cm a 25°C
47	Marie Starks	770	Ergo	-/-/79	80	19,0	-	8,0	-	-	-	-	-	-
48	Sabesp	800	Politi	-/08/85	200	6,9	78,6	6,0	0,083	agn	36,5	40; 70	6,0	123
49	Sabesp	800	Hidrogessp	-	180	0,6	8,8	5,5	0,670	sgr	18,0	-	-	-
50	Sabesp	780	Politi	-/-/81	165	4,4	25,3	5,1	0,244	agn	22,0	-	-	-
51	Duraflora	830	Tringil	-/-/79	240	30,0	200,0	0,4	0,002	agn	26,0	-	-	-
52	Hotel Atibaia	760	Air Lift	-/-/73	180	6,0	115,0	4,2	0,038	am	34,7	-	-	-
53	Chác. Brasil	790	-	-	102	17,0	65,0	7,2	0,150	agn	41,0	-	-	-
54	Chác. Brasil	770	T. Janer	-/-/78	142	21,0	112,5	2,8	0,030	agn	37,8	-	-	-
55	Chác. Brasil	750	Ergo	-	80	25,0	-	1,0	-	sgr	25,0	-	-	-
56	Chác. Brasil	795	Ergo	-/-/80	70	44,0	-	2,0	-	sgr/agn	36,0	-	-	-
57	Chác. Brasil	795	Ergo	-/-/80	63	36,0	-	2,0	-	sgr/agn	37,0	-	-	-
58	Novo Signo	780	Ergo	-/-/79	150	12,0	80,0	6,5	0,095	sgr	55,0	-	-	-
59	Sítio São Luís	810	Politi	-/-/79	140	19,0	116,0	2,5	0,925	agn	52,0	-	-	-
60	Faz. Caiçara	820	-	-/-/80	140	1,7	-	2,7	-	sgr	24,0	-	-	-
61	Sítio dos Arcos	940	Corner	-/-/79	150	28,0	96,0	0,6	0,009	sgr/agn	30,0	-	-	-
62	Isamu Takaitashi	780	Perfurat	-/-/71	80	-	-	2,0	-	agn	40,0	-	-	-
63	Saburo Matuoka	800	Alfa Tokio	-/-/76	130	-	-	-	-	agn	15,0	-	-	-
64	Hisaichi	795	Air Lift	-/-/79	166	3,5	110,0	4,4	0,041	agn	27,0	-	-	-
65	Clube da Montanha	-	T. Janer	-/-/79	123	5,3	-	1,5	-	-	-	-	-	-
66	Com. Católica L. Roma	-	Geopessquisadora	-/-/79	249	12,0	-	1,2	-	-	-	-	-	-
67	Chácara Brasil	-	Politi	-/-/79	101	-	-	9,0	-	-	-	-	-	-
68	Rancho do Pilão	-	Aguater	-/-/77	70	-	-	6,4	-	-	-	-	-	-
69	Sítio Belvedere	-	-	-/-/77	113	-	-	5,0	-	-	-	-	-	-
70	Lot. Campos de Atibaia	-	Tringil	-/-/80	200	-	-	1,8	-	-	-	-	-	-
71	Bc. Esmeraldo	-	Ergo	-/-/80	81	-	-	8,0	-	-	-	-	-	-
72	Com. Cat. Lit. Roma	-	Geopessquisadora	-/-/79	56	-	-	2,4	-	-	-	-	-	-
73	-	-	Ergo	-/-/80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	Lot. Campos do Atibaia	-	-	-	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	Frigave	-	-	-/-/68	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	Frigave	-	-	-/-/70	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	Setsuo	-	Yanagata	-/-/75	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	Marione	-	-	-/-/80	108	-	-	-	-	-	-	-	-	-
79	Park Hotel Atibaia	-	-	-	120	-	61,0	-	-	-	-	-	-	-

N.E. = Nível estático

N.D. = Nível dinâmico

Q = Vazão

Cap. Esp. = Capacidade específica

* = Altitude aproximada retirada da folha planialtimétrica

SF. 23.C - III-2/MI - ATIBAIA

ANEXO 01 - CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES, pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - REGIÃO DE ATIBAIA (SP)

ANEXO 02

**CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS ES
CAVADOS DA REGIÃO DE ATIBAIA
(SP)**

No. DE ORDEM	PROF. (m)	N.E. (m)	pH	COND. EL. $\mu\text{s/cm}$ à 25°C	DATA DO CADASTRO
001	10,0	-	5,4	26	05/88
002	7,0	-	5,8	47	05/88
003	10,0	-	4,4	59	05/88
004	12,0	9,0	5,8	30	05/88
005	9,0	-	6,2	79	05/88
006	7,0	5,0	5,9	76	05/88
007	6,5	5,0	5,1	-	05/88
008	7,5	6,0	5,7	-	05/88
009	5,0	3,5	4,5	64	05/88
010	18,0	-	6,0	27	05/88
011	10,0	2,0	4,9	58	05/88
012	2,0	0,7	4,9	53	05/88
013	5,0	3,0	5,7	35	05/88
014	8,0	4,0	4,8	25	05/88
015	-	-	5,7	38	05/88
016	5,0	1,0	5,7	33	05/88
017	24,0	20,0	-	-	05/88
018	8,0	6,0	4,6	26	05/88
019	-	1,7	5,0	32	05/88
020	20,0	18,0	5,0	60	05/88
021	3,0	1,9	5,6	95	05/88
022	2,5	2,0	6,2	190	05/88
023	17,0	7,5	5,9	149	05/88
024	10,0	7,0	4,7	21	05/88
025	9,0	7,0	6,1	84	05/88
026	16,0	12,0	5,8	70	05/88
027	17,0	13,0	5,8	62	05/88
028	20,0	18,0	6,4	72	05/88
029	3,5	2,0	5,7	64	05/88
030	3,0	1,5	5,5	47	05/88
031	7,0	5,0	5,1	43	05/88
032	10,0	7,0	5,5	49	05/88
033	6,0	2,3	4,7	53	05/88
034	14,0	5,3	5,2	209	05/88
035	6,0	2,0	5,8	198	05/88
036	6,0	2,8	4,8	64	05/88
037	25,0	18,3	7,6	116	05/88
038	4,0	1,8	5,2	39	05/88
039	7,0	2,3	5,1	34	05/88
040	3,0	0,2	5,0	44	05/88
041	7,0	2,0	4,7	14	05/88
042	5,0	2,9	4,9	25	05/88
043	5,0	1,8	5,7	59	05/88
044	7,0	4,8	4,9	105	05/88
045	14,0	11,6	6,0	22	05/88
046	5,0	3,0	5,2	26	05/88
047	4,0	2,1	4,8	16	05/88
048	31,0	28,0	6,8	69	05/88
049	12,0	7,0	4,6	39	05/88

No. DE ORDEM	PROF. (m)	N.E. (m)	pH	COND. EL. $\mu\text{s/cm}$ à 25°C	DATA DO CADASTRO
050	6,0	2,5	6,0	103	05/88
051	5,0	3,3	6,0	46	06/88
052	10,0	7,3	6,3	73	06/88
053	7,5	6,0	5,8	57	06/88
054	7,0	5,0	6,1	24	06/88
055	10,0	7,8	5,3	23	06/88
056	6,0	2,0	4,8	18	06/88
057	12,0	9,2	5,6	32	06/88
058	10,0	6,5	5,1	67	06/88
059	15,0	6,2	4,5	49	06/88
060	7,0	4,0	4,3	42	06/88
061	8,0	5,4	4,5	66	06/88
062	12,0	8,0	5,8	26	06/88
063	11,0	5,3	5,4	19	06/88
064	10,0	5,6	5,9	73	06/88
065	7,0	5,8	6,9	107	06/88
066	12,0	9,0	5,5	47	06/88
067	14,0	12,6	5,8	92	06/88
068	22,0	15,7	5,7	60	06/88
069	4,0	2,5	4,8	24	06/88
070	10,0	6,5	6,4	132	06/88
071	8,5	3,5	5,8	-	06/88
072	32,0	22,0	6,9	-	06/88
073	6,0	4,5	4,8	68	06/88
074	9,0	6,9	5,7	102	06/88
075	10,0	7,6	4,9	132	06/88
076	6,0	3,0	4,5	25	06/88
077	2,5	1,7	5,2	33	06/88
078	8,0	3,8	4,7	9	06/88
079	10,0	8,0	6,4	68	06/88
080	20,0	17,4	6,0	67	06/88
081	20,0	9,7	7,2	133	06/88
082	12,0	8,0	5,9	77	06/88
083	7,0	2,8	5,8	74	06/88
084	1,5	0,4	4,8	10	06/88
085	12,0	7,0	4,3	39	06/88
086	8,0	3,0	6,2	82	06/88
087	18,0	12,3	5,2	19	06/88
088	28,0	17,4	7,7	178	06/88
089	16,5	6,0	6,5	105	06/88
090	20,5	11,0	5,9	87	06/88
091	14,0	10,5	5,9	65	06/88
092	5,0	1,7	5,5	72	06/88
093	20,0	13,0	6,1	75	06/88
094	8,0	5,8	5,6	19	06/88
095	10,0	1,7	5,7	42	06/88
096	10,0	6,7	5,7	22	06/88

No. DE ORDEM	PROF. (m)	N.E. (m)	pH	COND. EL. $\mu\text{s/cm}$ à 25°C	DATA DO CADASTRO
097	6,0	3,8	5,0	39	06/88
098	10,0	7,2	5,1	49	06/88
099	7,0	3,5	5,1	45	06/88
100	7,0	5,1	5,3	27	06/88
101	8,0	5,0	7,0	166	06/88
102	8,0	1,5	5,7	49	06/88
103	6,0	2,7	5,5	89	06/88
104	8,0	4,6	6,3	59	06/88
105	10,0	6,9	6,2	96	06/88
106	6,0	2,5	5,0	27	06/88
107	6,0	2,0	4,6	18	06/88
108	6,0	2,5	5,3	80	06/88
109	6,0	2,3	5,2	30	06/88
110	7,0	3,4	5,1	82	06/88
111	6,0	0,5	6,2	195	06/88
112	12,0	8,2	4,8	13	06/88
113	16,0	12,0	5,1	9	06/88
114	6,0	3,0	5,8	169	06/88
115	12,0	6,7	6,2	72	06/88
116	6,0	3,5	5,0	2	06/88
117	18,0	13,3	6,7	179	05/88
118	22,0	18,8	5,7	162	05/88
119	3,0	1,3	4,5	30	07/88
120	6,0	4,3	4,9	54	07/88
121	6,0	3,4	4,6	29	07/88
122	7,0	4,4	4,5	40	07/88
123	5,5	1,3	5,9	152	07/88
124	7,0	6,3	6,0	51	07/88
125	8,0	5,0	5,9	93	07/88
126	6,5	4,3	6,2	16	07/88
127	10,0	7,4	5,2	42	07/88
128	7,0	4,6	5,2	22	07/88
129	6,0	5,0	5,3	46	07/88
130	8,0	4,9	5,2	21	07/88
131	5,0	2,5	6,4	130	07/88
132	7,0	4,4	5,3	56	07/88
133	3,5	1,7	4,9	70	07/88
134	20,0	16,7	5,9	73	07/88
135	11,0	6,0	5,7	147	07/88
136	9,0	6,5	5,5	16	07/88
137	6,0	3,2	5,2	82	07/88
138	13,0	0,5	6,1	112	07/88
139	6,0	1,7	4,9	102	07/88
140	3,0	0,4	5,5	158	07/88
141	15,0	12,5	7,2	105	07/88
142	7,0	4,7	5,0	28	07/88
143	7,0	2,5	5,3	41	07/88
144	2,5	1,2	5,1	2	07/88

No. DE ORDEM	PROF. (m)	N.E. (m)	pH	COND. EL. $\mu\text{s/cm}$ à 25°C	DATA DO CADASTRO
145	4,0	3,5	4,7	20	07/88
146	6,0	3,8	5,4	58	07/88
147	14,0	11,0	4,7	13	07/88
148	5,0	2,7	6,6	2	07/88
149	16,0	10,9	6,8	99	07/88
150	5,0	4,3	5,1	40	07/88
151	6,0	4,2	5,4	34	07/88
152	3,0	0,5	5,0	21	07/88
153	3,0	1,8	5,0	76	08/88
154	18,0	15,3	5,4	33	08/88
155	18,0	13,2	5,3	93	08/88
156	20,0	8,2	5,6	98	08/88
157	22,0	20,0	6,6	168	08/88

PROF. - Profundidade do poço
 N.E. - Nível estático
 COND. El. - Condutividade elétrica

ANEXO 02 - CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS ESCAVADOS DA REGIÃO DE ATIBAIA-SP

LEGENDA

LITO-ESTRATIGRAFIA

QUATERNÁRIO

Qa

Arenitas, siltes, argilas e cascalhos de deposição fluvial.

TERCIÁRIO - QUATERNÁRIO

TQc

Coberturas coluvionares; sedimentos arenosos e silteosos com intercalações de leitos conglomeráticos.

PROTEROZÓICO SUPERIOR

Maciço de Atibaia

agr rd

Granitos equigranulares, porfiríticos, granulação variando de fina a grossa, coloração cinza a rósea (agr); diques de riolito (rd).

PRÉ-CAMBRIANO - PROTEROZÓICO INFERIOR

Maciço de Socorro

sgr

Granitos porfiríticos, equigranulares a inequigranulares, às vezes deformados, coloração esbranquiçada a rósea.

Complexo Amparo

agnm ax

Complexo gnáissico - migmatítico com intercalações de micaxistos, meta-arcósis, quartzitos e anfibolitos (agnm); xistos (ax).

GEOLOGIA

- Contato geológico definido e inferido
- Falha definida e inferida
- Falha normal
- Fratura
- Atitude de fratura
- Fratura vertical
- Atitude de foliação
- Foliação vertical
- Atitude de foliação milonítica
- Tranco axial de sinforme com coimento
- Tranco axial de antiforme com coimento

HIDROGEOLOGIA

- Poço escavado
- Poço tubular
- Gezômetro multinível
- Poço jorrante
- Fonte
- Poço escavado com análise físico-química
- Poço tubular com análise físico-química
- Divisor hidrográfico
- Rio
- Riocho
- Acude
- Lagoa

DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS

- Número de ordem
 - Capacidade específica (m³h/m) (2)
 - Profundidade do poço (m) (2)
 - Condutividade elétrica a 25°C (μS/cm) (2)
- (2) número de parâmetros da média

DEFLUXÃO MAGNÉTICA
1960 e 1970
CORREÇÃO DE ANOMALIA
DO CAMPO MAGNÉTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

ATIBAIA	ATIBAIA	ATIBAIA
ATIBAIA	ATIBAIA	ATIBAIA
ATIBAIA	ATIBAIA	ATIBAIA
ATIBAIA	ATIBAIA	ATIBAIA
ATIBAIA	ATIBAIA	ATIBAIA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CENTRO DE PESQUISAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
Projeto: Hidrogeologia de Rochas Fraturadas Precambrianas
Área piloto: Atibaia - SP
Base geológica e pontos d'água
Autor: Itabaci Nazareno Cavalcante
Coordenador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças
FINEP/PADOC: Nº 42.86.0492 00
São Paulo, 1990