UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CENTRO-OESTE
DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**
CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E QUÍMICAS

Elisabeth Hillairet Parisot

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo
1983

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CENTRO-OESTE
DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E QUÍMICAS

Elisabeth Hillairet Parisot

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. Aldo da Cunha Rebouças
Examinadores:	Dr. Adolpho José Melfi
	Dr. Robert Cleary

São Paulo
1983

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho foi grandemente facilitada pela valiosa colaboração de várias pessoas e entidades, às quais registro aqui minha sincera gratidão.

Ao Professor Aldo da Cunha Rebouças pela oportunidade que me ofereceu de desenvolver essa pesquisa no Instituto de Geociências-USP, pela orientação em todos os momentos do trabalho, pela leitura e correção do texto.

Aos Professores Reinholt Ellert, Diretor do Instituto, e Evaristo Ribeiro Filho, Chefe do Departamento de Geologia Econômica, pelas atenções sempre disponíveis.

Ao Professor Jean-Jacques Trescases, pela orientação nos aspectos geoquímicos da pesquisa.

Aos Professores Adolpho José Melfi e Robert Cleary, pela leitura do texto e sugestões apresentadas.

Aos Senhores Ronaldo Klockner da CORNER, Celso de Almeida Bairão da T.JANER, Roberto Pereira Leite da AIR-LIFT e Ivanir Borella Mariano do DAEE, pelas atenções dispensadas e uso de seus arquivos.

Aos colegas Uriel Duarte, Marlucia Santiago, Adelbani Braz da Silva e Gilberto Fraga, que com sua amizade tornaram tão agradável a minha permanência no Instituto e incentivaram no meu trabalho.

Ao Senhor Francisco Américo Tenório Junior pelo auxílio nos trabalhos de campo.

As Senhoras Nícia Maria Brandão Zalaf e Claudete Salinas Franzosi pelo zelo na datilografia final, e ao Senhor Jaime Alves da Silva e auxiliares pela impressão deste trabalho.

RESUMO

As águas subterrâneas da região metropolitana de São Paulo vem sendo exploradas através de numerosos poços tubulares (cerca de 3.200 foram cadastrados em 1974) para abastecimento de indústrias, condomínios, clubes esportivos, hospitais e hotéis. Numa área de estudo de 150 km² situada a Nordeste do Município, analisamos uma centena de poços localizados em duas zonas, uma de ocupação essencialmente residencial e outra essencialmente industrial.

Em relação à geologia identificamos dois aquíferos, o aquífero cristalino correspondente ao embasamento pré-cambriano alterado e fraturado, e o aquífero sedimentar correspondente aos sedimentos argilo-arenosos terciários da bacia sedimentar de São Paulo.

Quanto à exploração, nos poços que exploram o aquífero sedimentar, a maior frequência de vazões é entre 10 e 20 m³/h, com rebaixamentos de 20 a 30 m, enquanto nos poços que exploram o aquífero cristalino as vazões mais frequentes se situam entre 3 e 5 m³/h, com rebaixamentos de 60 a 80 m.

As análises químicas realizadas permitiram distinguir nitidamente as águas do aquífero sedimentar e do aquífero cristalino. A água extraída dos sedimentos apresenta um teor de sólidos totais dissolvidos muito baixo (3 a 45 mg/l) enquanto a água do cristalino é mais mineralizada (80 a 500 mg/l). A mineralização das águas do cristalino é atribuída à alteração dos silicatos, constituintes das rochas do embasamento, sobretudo, no que se refere aos teores de sódio, cálcio, magnésio e bicarbonato.

Em geral, as águas subterrâneas apresentam uma qualidade química satisfatória para o consumo humano. Apenas alguns casos de poluição por bário, chumbo e cromo foram evidenciados em amostras coletadas na zona industrial.

Levando em conta as características hidrogeológicas dos aquíferos e a forma de ocupação do solo, definimos no setor estudado zonas de diferentes graus de vulnerabilidade à poluição.

RESUME

Les eaux souterraines de la région métropolitaine de São Paulo sont exploitées par de nombreux forages (près de 3200 ont été recensés en 1974) pour l'approvisionnement en eau d'industries, d'immeubles, de clubs sportifs, d'hôpitaux et d'hôtels. Dans une zone de 150 km^2 située au Nord Est de la ville, nous avons étudié une centaine de forages répartis dans deux secteurs, l'un essentiellement résidentiel, l'autre essentiellement industriel.

Il existe deux aquifères liés à la géologie, l'aquifère cristallin correspondant au socle précambrien altéré et fracturé, et l'aquifère sédimentaire correspondant aux sédiments argilo-sableux tertiaires du bassin sédimentaire de São Paulo.

Les forages qui exploitent l'aquifère sédimentaire présentent le plus fréquemment des débits de $10 \text{ à } 20 \text{ m}^3/\text{h}$ avec des rabattements de $20 \text{ à } 30 \text{ m}$ alors que les débits les plus fréquents des forages qui exploitent l'aquifère cristallin sont de $3 \text{ à } 5 \text{ m}^3/\text{h}$ avec des rabattements de $60 \text{ à } 80 \text{ m}$.

Les analyses chimiques effectuées ont permis de différencier nettement les eaux de l'aquifère sédimentaire et de l'aquifère cristallin. L'eau provenant des sédiments contient très peu d'éléments minéraux dissous ($3 \text{ à } 45 \text{ mg/l}$) alors que l'eau du cristallin est plus minéralisée ($80 \text{ à } 500 \text{ mg/l}$). Nous avons considéré l'altération des silicates du socle comme le principal responsable des concentrations en sodium, calcium, magnésium et bicarbonate de l'eau provenant de l'aquifère cristallin.

En général les eaux souterraines présentent une qualité chimique satisfaisante en relation aux critères de potabilité. Quelques cas de pollution en barium, plomb et chrome ont été décelés dans des échantillons prélevés dans la zone industrielle.

A partir des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères et de la forme d'occupation du sol, nous avons défini dans le secteur étudié des zones de différent degré de vulnérabilité à la pollution.

ABSTRACT

Ground water of the metropolitan São Paulo region is being exploited by numerous deep wells (about 3,200 were inventoried in 1974) to supply industries, apartments, sport clubs, hospitals and hotels. In a 150 km² area to the Northeast of the São Paulo municipality, one hundred wells, situated in two sectors, one residential and the other industrial, were analyzed.

With respect to the geology, there exist two aquifers, a crystalline one corresponding to the weathered and fractured precambrian basement, and a sedimentary one corresponding to sand/clay tertiary sediments of the São Paulo sedimentary basin.

In wells exploiting the sedimentary aquifer the most frequent yields are between 10 and 20 m³/h with drawdowns from 20 to 30 m, whereas in wells exploiting the crystalline aquifer yields range between 3 and 5 m³/h with drawdowns between 60 and 80 m.

A chemical analysis clearly distinguishes water from the sedimentary aquifer and water from the crystalline aquifer. Water extracted from the sediments has a very low concentration of dissolved solids (3 to 45 mg/l), whereas water from the crystalline basement has a higher concentration (80 to 500 mg/l). Mineralization of water from the crystalline aquifer was attributed to the weathering of the silicate minerals, particularly with respect to the sodium, calcium, magnesium and bicarbonate concentrations.

Generally, ground water is of good quality for human consumption. Some cases of pollution by barium, chromium and lead were discovered in the industrial sector.

With respect to hydrogeological and social-economic factors, zones of different degree of vulnerability to pollution were defined in the studied area.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

GENERALIDADES	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	3
3. METODOLOGIA GERAL	4

CAPÍTULO II

MEIO FÍSICO	8
1. ELEMENTOS FISIO-CLIMÁTICOS	9
1.1. Fisiografia	9
1.2. Clima	10
2. GEOLOGIA	10
2.1. Os Sedimentos	10
2.2. O Embasamento Cristalino	13
2.3. Tectônica	15

CAPÍTULO III

HIDROGEOLOGIA	17
1. LEVANTAMENTO DE DADOS	18
2. CARACTERÍSTICAS DOS AQUÍFEROS	24
2.1. Aquífero Cristalino	24
2.2. Aquífero Sedimentar	30
3. CONDIÇÕES DE RECARGA	34
4. CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO	35

CAPÍTULO IV

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS	38
1. OS DADOS DISPONÍVEIS	39
2. AS ANÁLISES REALIZADAS	42

2.1. Metodologia	42
2.2. Os Resultados Analíticos	44
3. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS	50
3.1. Apresentação dos Resultados	50
3.2. Classificação Química das Águas	58
3.3. Discussão	62
4. QUALIDADE DAS ÁGUAS	68
4.1. Os Padrões	68
4.2. Análise dos Dados do Estudo	69
4.3. Vulnerabilidade dos Aquíferos	72
 CAPÍTULO V	
CONCLUSÕES	76
 BIBLIOGRAFIA	79
 ANEXO	89

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1	- Situação da Região no Quadro Geológico do Estado de São Paulo	5
Figura 2	- Municípios da Região Metropolitana da Grande São Paulo	6
Figura 3	- Geologia da Área de Estudo	7
Figura 4	- Dados Pluviométricos do Período 1958-1968	11
Figura 5	- Mapa Ilustrativo da Densidade de Poços na Área de Estudo Segundo o Cadastro DAE (1975)	19
Figura 6	- Tipo de Informações Fornecidas pelas Companhias de Perfuração	20
Figura 7	- Localização dos Poços Cadastrados na Zona I	22
Figura 8	- Localização dos Poços Cadastrados na Zona II	23
Figura 9	- Correlação de Perfis de Poços na Zona I	26
Figura 10	- Correlação de Perfis de Poços na Zona II	27
Figura 11	- Frequência das Vazões e Capacidades Específicas dos Poços Cadastrados	29
Figura 12	- Piezometria do Aquífero Sedimentar Segundo o DAE (1975)	32
Figura 13	- Elementos Dissolvidos em Função da Condutividade a 25°C	52
Figura 14	- Elementos Dissolvidos em Função do Teor de Bicarbonatos	56
Figura 15	- Classificação das Águas do Aquífero Sedimentar no Diagrama de Piper	60
Figura 16	- Classificação das Águas do Aquífero Cristalino no Diagrama de Piper	61
Figura 17a	- Diagrama de Estabilidade do Sistema $K_2O, Al_2O_3, SiO_2, H_2O$ a 25°C, 1 atm.	66

Figura 17.b - Diagrama de Estabilidade do Sistema $\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$ a 25°C, 1 atm. 67

Figura 17.c - Diagrama de Estabilidade do Sistema $\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$ a 25°C, 1 atm. 67

Figura 18 - Esquema de Vulnerabilidade dos Aquíferos 74

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1 - Dados de Análises Disponíveis (mg/l)	40
Tabela 2 - Resultados de Análises: Elementos Maiores (mg/l)	46
Tabela 3 - Resultados de Análises: Elementos Menores (mg/l)	47
Tabela 4 - Resultados de Análises: Elementos Maiores (meq/l)	48
Tabela 5 - Porcentagem de Erro das Análises Relativas às Amostras da Zona II	49
Tabela 6 - Composição Química Média (mg/l)	51
Tabela 7 - Concentração de Ferro (mg/l) Segundo o Tipo de Preservação da Amostra	51
Tabela 8 - Elementos Maiores em Porcentagem de meq/l	59
Tabela 9 - Coordenadas dos Diagramas de Estabilidade	66
Tabela 10 - Padrões da Qualidade Química da Água Potável (mg/l)	70

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1. INTRODUÇÃO

A Região da Grande São Paulo com 12.588.439 habitantes (censo IBGE, 1980), constitui a maior concentração humana do País. O desenvolvimento demográfico e econômico acelerado trouxe, como consequência, além de todos os problemas sociais, econômicos e políticos, uma demanda crescente de água para consumo doméstico e industrial.

A solução adotada para o abastecimento público é o uso das águas superficiais (armazenamento através de represas e tratamento). Entretanto, cada vez mais, os consumidores exploram as águas subterrâneas que ocorrem em suas propriedades, através de poços rasos ou profundos, seja porque a rede pública não os atinge, seja porque essa solução é julgada mais barata em relação ao custo de água aduzida. Vale observar que a bacia sedimentar de São Paulo de idade cenozóica, onde se localizam as maiores potencialidades, corresponde a apenas 15% da área, no restante ocorrem rochas cristalinas de idade pré-cambriana (Fig.1).

As águas subterrâneas apresentam, geralmente, características químicas que atendem as normas de potabilidade, dispensando o tratamento convencional exigido pelas águas de superfície. O complexo urbano-industrial de São Paulo constitui em si uma fonte potencial importante de poluição das águas subterrâneas ocorrentes na região, destacando-se fossas sépticas, vazamentos de rede coletora de esgotos domésticos e industriais, percolações provenientes de depósitos de produtos industriais, aterros sanitários, cemitérios, infiltrações de águas de despejo de indústrias.

O objetivo do presente estudo é, por um lado, analisar a situação atual do aproveitamento das águas subterrâneas no Município de São Paulo e, por outro lado, determinar as características químicas das águas, suas relações com o Meio

Ambiente, inclusive com a geologia. Embora as águas subterrâneas da região nunca venham a ter um papel predominante para o abastecimento deste complexo urbano-industrial, constituem contudo uma fonte complementar não desprezível, cuja qualidade natural deve ser preservada.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A "Grande São Paulo" (8.050 km^2), uma das 11 regiões administrativas do Estado, localiza-se aproximadamente entre as coordenadas $45^\circ 40' \text{ W}$ - $47^\circ 10' \text{ W}$ e 23° S - $24^\circ 10' \text{ S}$. Corresponde a 3,2% da superfície do Estado, e compreende mais de 50% dos seus habitantes (Fig.2).

O Município de São Paulo (1.509 km^2) é um dos 37 Municípios que constituem a Região. Destes, apenas 14 apresentam relativo grau de isolamento da Capital, enquanto que os 23 restantes se mostram praticamente fundidos numa única e densa mancha de urbanização, constituindo a mais importante concentração urbana do continente sul americano.

Destacamos os limites municipais, pois os estudos relativos à ocorrência das águas subterrâneas e sua exploração, referem-se, seja à Região da Grande São Paulo, seja ao Município.

A área de estudo, de cerca de 150 km^2 , no centro do Município de São Paulo (Fig.2), compreende duas faixas (Zonas I e II, Fig.3), cujas características de ocupação são bem distintas. A faixa I se estende da Avenida Paulista até o Morumbi, entre as Avenidas Rebouças e Nove de Julho aproximadamente, cuja ocupação predominante é residencial e de serviços. A faixa II situa-se na região de Jaguaré-Lapa, com ocupação predominantemente industrial.

3. METODOLOGIA GERAL

As perfurações efetuadas afim de explorar as águas subterrâneas constituem preciosas fontes de informações sobre as características dos aquíferos e permitem obter amostras de água para determinações da sua composição química. Portanto, a primeira fase de nosso trabalho foi a localização dos principais poços profundos perfurados na região.

Cada um dos poços constantes do anexo foi objeto de uma visita, e quando havia condição (autorização do proprietário e possibilidade técnica) uma amostra da água do poço foi coletada através do equipamento de exploração instalado.

Análises químicas dos elementos maiores e menores da água foram realizadas sobre as amostras coletadas.

Fig. 1 - SITUAÇÃO DA REGIÃO NO QUADRO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Fig. 2 - MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE SÃO PAULO

Fig. 3 - GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

C A P Í T U L O I I

M E I O F Í S I C O

1. ELEMENTOS FISIO-CLIMÁTICOS

1.1. Fisiografia

A região da Grande São Paulo situa-se na porção sudeste do Planalto Atlântico Brasileiro aqui denominado de Planalto Paulista.

Enquanto no contexto sedimentar predomina uma topografia de colinas arredondadas e tabuliformes, com vales bem abertos, nas rochas do Pré-Cambriano, a topografia é mais acidentada, com altitudes de 100 a 300 m acima dos pontos mais elevados da bacia sedimentar.

A altitude máxima da área estudada atinge a cota de 831 m (Bairro de Sumaré), e a mais baixa, 718 m, situa-se na confluência dos rios Tietê e Pinheiros.

Como acidente topográfico maior do relevo paulistano, destaca-se o "Espigão Central", divisor das águas do Tietê e do Pinheiros, com altitudes superiores a 800 m, o qual se estende sobre 15 a 16 km, na direção Sudeste-Noroeste (do bairro de Jabaquara até o Alto da Lapa); a Avenida Paulista corresponde a seu trecho central.

Em termos hidrológicos, a maior parte da superfície da região metropolitana (70%) pertence à bacia hidrográfica do Alto Tietê (curso Leste-Oeste). As águas do rio Pinheiros, seu principal afluente na região, atualmente são revertidas (bombeadas do rio Tietê para a represa Billings). Na região metropolitana, os traçados desses dois rios foram retificados, de tal forma que seria mais correto mencionar o canal do rio Tietê e o canal do rio Pinheiros.

1.2. Clima

O clima da Região Paulistana pode ser definido como tropical com verão moderado. A temperatura média anual é de 18°C, sendo a de janeiro, mês mais quente do ano, 24°C em mê-dia.

A precipitação média anual é de aproximadamente 1300 mm, sendo que 50% deste total precipita entre dezembro e fevereiro. Desta forma, temos um regime com estações contrastadas como pode ser visto na figura 4. A distribuição no espaço faz-se, grosso modo, de acordo com a topografia.

2. GEOLOGIA

A área estudada coincide com a parte ocidental da bacia sedimentar de São Paulo, cujos depósitos cenozóicos repousam discordantemente sobre o embasamento cristalino prê- cambria no que aflora a Oeste da área (Fig.3).

2.1. Os Sedimentos

Distinguem-se os sedimentos da Formação São Paulo, e as aluviões mais recentes.

- Formação São Paulo

Os perfis geológicos das perfurações realizadas na região mostram que a Formação São Paulo tem uma espessura variável, podendo atingir 100 e até 200 m, e apresenta uma alternância de camadas argilosas e arenosas. A correlação destes perfis sugere que predomina o caráter lenticular desses sedimentos clásticos, como já ressaltado por LEINZ & CARVALHO (1957): " geralmente não aparecem as mesmas características litológicas em duas sondagens distantes apenas 200 m uma da outra, o que indica

MÉDIAS MENSAS DO PERÍODO (mm)

TOTAIS ANUAIS (mm)

POSTO: ÁGUA BRANCA Latit.23º35' Longit.46º48'

MÉDIAS MENSAS DO PERÍODO (mm)

TOTAIS ANUAIS (mm)

POSTO: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO Latit.23º24'
Longit.46º46'

Fig. 4 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO PERÍODO 1958-1968
(Fonte: Boletim Pluviométrico nº 2, DAEE 1970)

uma forma lenticular para os depósitos".

No geral, os perfis geológicos apresentam uma zona inferior a predominância argilosa e uma zona superior a predominância arenosa. Com efeito, ALMEIDA (1955) distingue duas partes, embora pouco individualizadas na Formação São Paulo: "uma parte inferior constituída de camadas de areia mais ou menos isentas de argila que pode ultrapassar 50m, seguida de até cerca de 40 m de camadas alternadas de argila e areia argilosa". Segundo esse mesmo autor, a composição mineralógica destes sedimentos indica a predominância absoluta de quartzo entre os componentes detríticos alógenos, ocorrendo ainda turmalina e muscovita.

Por outro lado, LEINZ & CARVALHO (1957) e COZZOLINO (1972), distinguem na camada superior um horizonte superficial de argilas vermelhas de alguns metros até 25 m, rico em óxidos de ferro (de 4 a 16%). Às vezes, os óxidos de ferro se concentram sob forma de concreções ferruginosas. Sob esse horizonte, as argilas alternadas com lentes de areia fina, apresentam cores variadas, amarelo, rosa, vermelho, branco. Admite-se (ALMEIDA 1955; LEINZ & CARVALHO, 1957; COZZOLINO, 1972) que a cor vermelha do horizonte superficial tem uma origem secundária, ligada a um fenômeno atual ou quase atual de intemperismo.

O baixo grau de arredondamento, bem como o baixo grau de seleção granulométrica permitem classificar os sedimentos da Formação São Paulo como textural e mineralogicamente imaturos (SUGUIO, 1980).

Esses sedimentos são de origem fluvial, ligados a uma rede de drenagem parcialmente barrada pela soleira de Barueri no Terciário (HASUI & CARNEIRO, 1980).

A maioria dos autores (LEINZ & CARVALHO, 1957; HASUI et alii, 1976; SUGUIO, 1980 e outros) admite que a natureza essencialmente pelítica dos sedimentos reflete um profundo in-

temperismo das áreas-fontes onde abundam rochas granitoides alteradas em clima quente e úmido não muito diferente do atual; a massa detrítica disponível foi transportada a curta distância.

- As Aluviões Quaternárias

Esses sedimentos são ligados às planícies de inundação dos rios Tietê, Pinheiros e afluentes. No âmbito da bacia sedimentar de São Paulo, SUGUIO & TAKAMASHI (1970) distinguem aluviões antigas de aluviões recentes.

As aluviões antigas são constituídas predominantemente de areias grossas, com 15 a 20 m de espessura, e foram identificadas como do Pleistoceno Superior. Estudos dos argilominerais de raros níveis pelíticos indicaram presença única e exclusiva de caolinita (SUGUIO et alii, 1971).

As aluviões recentes são pouco desenvolvidas, com espessura de 2 a 3 m, são essencialmente argilosas e com idades que não devem ultrapassar alguns milhares de anos. Na área de estudo, as descrições dos perfis geológicos dos poços perfurados que atravessaram aluviões, conforme o mapa geológico (Fig. 3), não permitem distinguir esses sedimentos daqueles terciários.

2.2. O Embasamento Cristalino

No âmbito da área de estudo, o embasamento cristalino pré-cambriano é constituído pelas rochas metamórficas do Complexo Cristalino e granitos intrusivos.

O Complexo Cristalino constitui, em parte, as rochas mais antigas do Estado. A litologia característica do Complexo é a "associação mica xistos-gnaisses-granitos, ocorrendo em faixas e lentes de direção geral NE-SW, acrescida de numerosos pegmatitos em determinadas zonas" (COUTINHO, 1972). Os mica xistos se subdividem em muscovita xistos e mica xistos feldspá-

ticos (presença de plagioclásio). Os minerais componentes dos gnaisses são quartzo, microclínio, oligoclásio ou andesina, biotita, hornblenda (COUTINHO, 1972).

No Norte da área de estudo afloram granitos (Fig. 3) considerados como granitos intrusivos do Prê-Cambriano Superior (granito da Cantareira); a sua composição básica é dada pelo microclínio, plagioclásio, quartzo e biotita.

Não obstante a grande variedade litológica das rochas aflorantes, a caracterização geológica dos perfis de perfurações que coletamos não vai além de "granito-gnaiss".

As rochas cristalinas apresentam uma zona superior de alteração de espessura variável, com até dezenas de metros, onde podem ser individualizadas duas camadas com características diferentes:

- uma inferior, no contato com a rocha fresca do embasamento, onde a alteração preserva ainda a estrutura da rocha original e os minerais primários ainda podem ser visualizados. Trata-se de um saprolito proveniente de uma alteração parcial com formação de argilo-minerais do grupo da caolinita.

- outra superior, totalmente alterada, com textura argilosa ou argilo-arenosa, constituída essencialmente de quartzo, caolinita e óxidos e hidróxidos de ferro. Representa os produtos lateríticos da alteração das rochas cristalinas.

Segundo as observações de LEINZ (1955b), o limite de alteração localiza-se entre as cotas de 715 a 735 m, mostrando uma nítida dependência do nível de drenagem regional. As rochas cristalinas cobertas por sedimentos também apresentam um nível alterado a cotas mais baixas, que seria um testemunho de decomposição sofrida no tempo pré-sedimentar (LEINZ, 1955b).

LEINZ & CARVALHO (1957), e o Departamento de

Água e Energia Elétrica (DAEE 1975) estabeleceram mapas da topografia do embasamento cristalino a partir dos dados fornecidos pelos perfis geológicos das perfurações profundas. Evidenciaram um paleorelevo tão ou mais acentuado que o atual que influenciou nas variações de espessura do pacote sedimentar.

Na zona I do nosso estudo, a cota do embasamento cristalino baixa de Sudoeste para Nordeste, formando a depressão onde se acumularam os sedimentos cenozóicos. Na parte interna dessa depressão (Leste do Rio Pinheiros), o embasamento situa-se a uma cota média de 650 m e apresenta amplas variações de cerca de 50 m. Por exemplo, ao longo da Avenida Paulista (cota 810 m), a espessura dos sedimentos pode variar de 150 a 200 m.

A zona II situa-se no limite setentrional da bacia sedimentar, isto quer dizer que o embasamento é topograficamente mais alto, a uma cota de cerca de 700 m, e coberto somente por 10 a 20 m de sedimentos. No bairro do Jaguarê, à Oeste do rio Pinheiros, na zona II, TALTASSE & DAVINO (1968) evidenciaram, por métodos gravimétricos, um pequeno graben. Neste local, encontra-se um pacote de sedimentos mais espesso, cerca de 65 m conforme os dados dos poços nº 106 a 117 do anexo.

2.3. Tectônica

A bacia de São Paulo sendo considerada como uma bacia tafrogênica, o aspecto tectônico é importante, pois é a origem mesma da bacia sedimentar.

Na região, o Pré-Cambriano é compartimentado em blocos justapostos limitados por extensos falhamentos transcorrentes. Esses falhamentos desenvolveram-se no Cambro-Ordoviciano provocando rejeitos horizontais (HASUI & CARNEIRO, 1980). A principal característica desse sistema de falhas é o seu desenvolvimento SW-NE. As falhas de Taxaquara e Caucaia, as mais importantes atingem a área de estudo, conforme ilustra a figura 3.

A reativação tectônica desse sistema de falhas no Terciário provocou movimentos verticais, estruturas de "horsts e grabens" que são responsáveis em parte pela formação da bacia sedimentar de São Paulo. O outro responsável foi o mecanismo de soleiras locais induzindo uma sedimentação fluvial a montante (HA-SUI & CARNEIRO, 1980). Essa movimentação é considerada como a etapa tardia de reativação wealdeniana no Jurássico Superior.

C A P Í T U L O I I I

HIDROGEOLOGIA

1. LEVANTAMENTO DE DADOS

São poucos os trabalhos que estudaram a hidrogeologia da porção central do Município, certamente devido a dificuldade de desenvolver trabalho de campo em meio urbano. Os dados a nossa disposição foram obtidos graças à perfuração de poços tubulares.

Os estudos realizados por LEINZ (1953,1955a) e MARQUES SILVA & BASANO FILHO (1972) baseiam-se em dados de perfurações efetuadas pelas Companhias T.JANER e CORNER respectivamente.

O "Estudo de águas subterrâneas, região Grande São Paulo" elaborado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE-1975), sintetiza os dados de perfurações efetuadas pela quase totalidade das Companhias que operam na Região. Foram cadastrados 3.200 poços tubulares na Grande São Paulo, dos quais 1981 no Município. Esse estudo é o mais recente e completo realizado sobre o assunto e constitui uma importante fonte de informações básicas.

Após a análise dos dados bibliográficos, efetuamos um novo levantamento dos poços perfurados nas duas zonas de estudo, escolhidas em função da maior densidade de poços (Fig.5) e das formas distintas de ocupação do solo, como já frisamos anteriormente. Infelizmente não pudemos nos beneficiar do "Banco de Dados" em implantação no DAEE, pois até o momento da conclusão dessa fase do trabalho, este ainda não era operacional. Para sanar essas limitações, visitamos as três principais Companhias que perfuram no Município: AIR-LIFT, CORNER e T.JANER, as quais nos forneceram o perfil geológico e demais informações sobre as perfurações localizadas nas duas zonas de nosso interesse. A figura 6 mostra duas das fichas de informações, a título de exemplo, sendo um poço perfurado nos sedimentos, e o outro no embasamento cristalino.

Fig. 5 - MAPA ILUSTRATIVO DA DENSIDADE DE POÇOS NA ÁREA DE ESTUDO SE GUNDO O CADASTRAMENTO DAEE (1975)

Fig. 6 - TIPO DE INFORMAÇÕES FORNECIDAS PELAS COMPANHIAS DE PERFURAÇÃO

De posse desses dados, foi realizado o trabalho de "campo" a fim de situar geograficamente os endereços indicados. A localização foi realizada no mapa 1/12.500 de São Paulo (IGGSP-1971) onde cada ponto é referenciado pelas suas coordenadas UTM. Quando encontramos condições favoráveis tais como, poço bombeando, possibilidade material de obter água diretamente do poço sem que ela passasse por algum tratamento ou por um reservatório, coletamos uma amostra de água (a metodologia dessa coleta será tratada com mais precisão no Capítulo IV, item 2). As figuras 7 e 8 indicam a localização dos poços cadastrados e amostrados nas zonas I e II de especial interesse deste estudo. Este levantamento não pretendeu ser exaustivo, visto que visitamos somente três Companhias de perfuração; mas, segundo os dados bibliográficos, essas três Companhias são responsáveis pela perfuração de grande maioria dos poços existentes na área.

Em anexo apresentamos as informações recolhidas nessa fase do estudo. Aí, sintetizamos as características mais importantes de cada perfuração, 59 na zona I e 39 na zona II. O número indicado na primeira coluna representa o número de ordem dos poços deste estudo, na última coluna indicamos quando foi coletada uma amostra e também quando fomos informados da desativação do poço.

impossível
Junto com a coleta, pretendíamos, no início do estudo, realizar medidas de nível de água. Infelizmente, isto verificou-se impossível na prática. Os poços encontram-se equipados, e não há acesso ao nível de água. Desta forma, a única fonte de informação é a consideração do nível estático encontrado no momento da perfuração do poço.

O "trabalho de campo" em meio urbano não é sempre fácil. Às vezes nos foi negada a autorização de entrar no local por receio de algum controle da nossa parte. Em particular, muitas indústrias não permitiram a amostragem do(s) seu(s) poço(s). Isto explica o fato de alguns poços do anexo não terem sido localizados exatamente e, portanto, não aparecem nas figu-

Fig. 7 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS CADASTRADOS NA ZONA I

Fig. 8 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS CADASTRADOS NA ZONA II

ras 7 e 8.

Os poços rasos, localizados sobretudo, na zona pe
riférica do Município não atingida pela rede pública de abastecim
ento, também exploram as águas subterrâneas. Contudo, as precā-
rias características construtivas e condições de uso, não possi-
bilitam obtenção de dados hidrológicos e amostras de água repre-
sentativas do aquífero.

2. CARACTERÍSTICAS DOS AQUÍFEROS

A análise bibliográfica dos estudos realizados e os dados de perfuração coletados na área de estudo, permitiram caracterizar os aquíferos. Em relação à litologia da região, distinguem-se dois tipos de aquíferos: o sedimentar e o cristalino. Segundo o local da perfuração, o poço extrai a água dos sedimen
tos, ou da rocha cristalina, ou dos sedimentos e da rocha crista
lina ao mesmo tempo. Segundo os dados disponíveis relativos ao Município de São Paulo (DAEE 1975), 1/3 dos poços explora água das camadas sedimentares, 1/3 água da rocha cristalina e 1/3 dos dois aquíferos. Como veremos no decorrer do presente estudo, do ponto de vista hidrogeológico, esta distinção nem sempre é possível.

2.1. Aquífero Cristalino

Esse aquífero é formado por duas unidades de ca
racterísticas diferentes: a rocha cristalina alterada onde a ā-
gua percola nos interstícios da rocha decomposta, e a rocha cris
talina fresca onde a água flui pelas fraturas.

Segundo as observações de LEINZ (1955a) "as en-
tradas principais de água localizam-se entre 50 e 100 metros de profundidade"; essa produção de água seria relacionada à existên
cia de "fendas abertas". Para outros (DAEE 1975), a contribuição

mais importante do aquífero cristalino provém do manto de alteração cuja espessura varia entre 10 e 120 metros. Os dados das perfurações não trazem informações sobre esse ponto, embora, às vezes, o perfil geológico separe a rocha alterada da rocha sã. Quando essa diferenciação é realizada (exemplos nas figuras 9 e 10), a posição do nível dinâmico ficando dentro da rocha sã permite concluir ser esta a principal responsável pela produção do poço.

A heterogeneidade das características hidrogeológicas do embasamento cristalino faz com que poços próximos entre si, espaçados de uma dezena de metros, possam apresentar condições de produção de água completamente diferentes. Devido à natureza imprevisível das intercomunicações das fraturas, LEINZ (1955a) considera conveniente uma distância mínima de 200 metros entre as perfurações para evitar uma possível interferência.

A nível regional, o aquífero cristalino é considerado saturado. A água da recarga, armazenada na parte alterada escoam para os rios. Admite-se (DAEE 1975) que 60 a 80% do total do escoamento dos rios provém dessas águas subterrâneas. Portanto, a extração da água do aquífero se faz em detrimento do escoamento superficial. A luz dos dados dos poços obtidos observamos que essa situação, dos rios drenando o aquífero cristalino, nem sempre se verifica. Com efeito, os poços perfurados na vizinhança dos rios e que exploram o aquífero cristalino, podem apresentar um nível estático abaixo do nível de drenagem da região. Pode assim existir um certo fluxo de água dos rios para o poço. Vale observar que a posição de nível de água dentro do poço pode estar sendo influenciada pela falta de limpeza deste ou isolamento dos fluxos pelos revestimentos.

A avaliação numérica dos parâmetros hidrogeológicos, tais como armazenamento e transmissividade, é difícil e é pouco significativa, devido à heterogeneidade do aquífero, e porque a produção do poço provém da zona porosa de decomposição da rocha e também das eventuais fraturas na zona superior.

Fig. 9 - CORRELAÇÃO DE PERFIS DE POÇOS NA ZONA I

Fig. 10 - CORRELAÇÃO DE PERFIS DE POÇOS NA ZONA II

Os poços perfurados no embasamento cristalino têm uma profundidade de 150 a 250 metros em média. Na área de estudo, são localizados na metade Sudoeste da zona I e a Leste do rio Pinheiros na zona II, correspondendo à margem Noroeste da bacia sedimentar. Esses poços têm um revestimento somente na parte superior, correspondente ao trecho perfurado em rocha alterada (Fig. 9 e 10).

Alguns poços (37, 38, 39, 52, 53) têm filtros na zona superior sedimentar, o nível estático nessa zona, e o nível dinâmico na rocha cristalina. Esses poços, portanto, podem ser considerados como explorando os dois aquíferos. A posição do nível dinâmico corresponde em geral ao limite de sucção da bomba e observa-se com frequência o efeito de "cachoeira" de água proveniente da zona aquífera superior caindo no espaço vazio criado pelo bombeamento. A simples consideração das características do poço, não é um critério suficiente para identificar a origem da água extraída.

A partir dos dados das perfurações que cadastramos nas zonas I e II do estudo (anexo), estabelecemos histogramas de frequência das vazões e capacidades específicas segundo o aquífero (Fig. 11). A capacidade específica é a vazão fornecida pelo poço por unidade de rebaixamento, $Q/(N.D.-N.E.)$. Não levamos em conta os dados dos poços que podem explorar os dois aquíferos ao mesmo tempo. A figura 11.a. mostra as fracas possibilidades hidrogeológicas do aquífero cristalino. Os poços perfurados têm pequena produção: 58,5% têm uma vazão inferior a $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Os rebaixamentos de nível durante o bombeamento são grandes, o que conduz a uma capacidade específica inferior a $0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ para 65% dos casos.

Segundo os dados relativos à Grande São Paulo (DAEE 1975), a vazão média dos poços explorando o aquífero cristalino é de $7,8 \text{ m}^3/\text{h}$ com 50% extraíndo menos de $4 \text{ m}^3/\text{h}$, e a capacidade específica média de $0,34 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ com 82% dos poços apresentando capacidade inferior. Portanto, os dados de produção re

a - Aquífero Cristalino

b - Aquífero Sedimentar

Fig. 11 - FREQUÊNCIA DAS VAZÕES E CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS CADASTRADOS.

lativos a nossa área de estudo se encontram dentro do quadro regional.

2.2. Aquífero Sedimentar

As camadas aluviais e terciárias são consideradas como uma unidade aquífera única devido às suas ligações hidráulicas e à dificuldade em diferenciá-las pelos dados de perfurações.

Deste conjunto, somente os sedimentos clásticos mais grosseiros possuem permeabilidade suficiente para tornar um poço relativamente produtivo. Portanto, os sedimentos da bacia de São Paulo são hidrologicamente pobres devido à predominância dos componentes argilosos e siltsos sobre os arenosos. Os dados sedimentológicos arrolados pelo DAEE (1975) estabeleceram que a porcentagem média de areia no aquífero sedimentar é da ordem de 35%. Além disso, as camadas arenosas apresentam uma conformação lenticular de espessura reduzida e de extensão muito variável. A figura 9 mostra a dificuldade de estabelecer uma correlação geológica entre esses níveis arenosos.

A intercalação dessas camadas e/ou lentes arenosas com material argiloso reduz a ligação hidráulica desses "corpos aquíferos" e daí, a zona de influência de um poço para outro; por isso LEINZ (1955a) julga 50 metros um afastamento mínimo conveniente entre dois poços.

Os poços perfurados nos sedimentos têm um revestimento sobre toda a extensão, intercalado com filtros colocados nos níveis mais arenosos (Fig.9). As perfurações, de 100 a 200 metros de profundidade em média, param assim que penetram na "rocha dura", embasamento cristalino. A espessura saturada pode variar de alguns metros até 100 metros, refletindo a irregularidade do topo do embasamento cristalino.

Na nossa área de estudo, o aquífero sedimentar é

explorado a Nordeste da zona I, parte central da bacia, (poços 1 a 34), e na zona II a Sudoeste do rio Pinheiros, "pequeno graben de Jaguarê" (Capítulo II, ítem 3). Os diagramas de frequências de vazões e capacidades específicas baseados nos dados dessas perfurações (Fig.11.b), mostram que a maior frequência de vazão nessas zonas é entre 15 a 20 m³/h, sendo de 61,8% a acumulada entre 5 e 20 m³/h. Em termos de capacidade específica, 52% dos poços têm um valor de 0,08 a 1 m³/h/m.

A estatística dos poços cadastrados pelo DAEE (1975) na Grande São Paulo mostra que a vazão média dos poços no momento da perfuração é de 17,4 m³/h, sendo que 50% dos poços apresentam valores inferiores a 9 m³/h. A capacidade específica média é de 1,66 m³/h/m sendo que 50% apresentam valores inferiores a 0,3 m³/h/m.

Embora as características do aquífero sedimentar não sejam muito boas, são melhores do que aquelas do aquífero cristalino. Alguns testes de bombeamento efetuados pelo DAEE (1975) evidenciaram uma transmissividade variando entre $2 \cdot 10^{-4}$ e $8 \cdot 10^{-4}$ m²/s; a porosidade específica foi estimada entre 2 e 10%

Com base nos níveis piezométricos observados nos poços no momento da perfuração, o DAEE (1975) elaborou dois mapas piezométricos do aquífero sedimentar, um cobrindo o período 1968-1970 e o outro o período 1974-1975 (Fig.12). As direções de fluxo mostram o escoamento da água do aquífero para os rios. A comparação destes panoramas com a topografia mostra que o nível estático acompanha o relevo de tal forma que o "espigão central da Avenida Paulista", zona alta, constitui também um divisor das águas subterrâneas. Isso se verifica na área de estudo conforme os dados de nível relacionados no anexo e ilustrados na figura 9. Esta situação geral tem se mantido no tempo conforme atestam os dados de nível de poços perfurados em anos mais recentes.

Estes panoramas de fluxo subterrâneo são atri-

a - ANO 1968-1970

b - ANO 1974-1975

LEGENDA

— 700 — Linha piezométrica e cota

↗ direção de fluxo

▨ Zonas de trabalho

Fig. 12- PIEZOMETRIA DO AQUÍFERO SEDIMENTAR SEGUNDO O DAEE (1975).

buídos como referentes ao aquífero sedimentar. Ocorre, entretanto, que na confluência interna dos rios (margem esquerda do Tietê e direita do Pinheiros), existe uma faixa onde os poços exploram o aquífero cristalino, em particular todos os poços da zona II a Leste do rio Pinheiros. Por outro lado, os sedimentos ocorrentes a Oeste do rio Pinheiros constituem retalhos do aquífero sedimentar dispersos em um contexto cristalino, sendo, portanto, pouco provável uma ligação hidráulica dessas camadas com as camadas da parte principal da bacia sedimentar. Nestes termos, nos parece que um mapa piezométrico do aquífero sedimentar deveria se restringir à parte central da bacia, onde os poços exploram efetivamente esse aquífero.

Um mapa piezométrico deve representar o estado do aquífero a um tempo dado, o que não é o caso dos mapas da figura 12 onde foram consideradas medidas de nível de água distantes de três anos. Ademais, a comparação dos níveis de 1968-1970 com os de 1974-1975 é pouco significativa tendo em vista que os pontos de medida de nível não são sempre os mesmos. Isto pode levar a uma falsa avaliação dos efeitos da exploração das águas subterrâneas na região. Há que considerar-se que a grande heterogeneidade do material aquífero exige uma rigorosa seleção de poços para obtenção de níveis correlacionáveis. Dentre os fatores importantes a considerar destacamos: a variação de nível com as características construtivas do poço, profundidade e nível de colocação dos filtros, as características litológicas dominantes do perfil geológico, e, as influências dos outros poços em operação no momento de leitura de nível.

A análise crítica dos mapas existentes, e a análise dos dados atualmente à disposição do hidrogeólogo, fazem com que o estabelecimento de um mapa piezométrico do aquífero sedimentar seja impossível na presente situação. Teriam que ser realizadas novas medidas de nível de água sobre um período que não ultrapasse um mês e, eliminadas as interferências de bombeamentos; isto verifica-se impossível na prática como já destacamos anteriormente (Ítem 1).

3. CONDIÇÕES DE RECARGA

As fontes de recarga dos aquíferos podem ser consideradas de três tipos: as precipitações diretas sobre a área, as contribuições dos terrenos cristalinos marginais e os vazamentos das redes de distribuição da água e esgotos. Considerando-se a progressiva urbanização da área, pode-se admitir que a recarga através das infiltrações naturais das águas de chuva, deve ter diminuído através do tempo. Nestas condições, e face ao crescente aumento do número de poços, poder-se-ia concluir que o aquífero estaria sendo submetido a um rápido processo de esgotamento. Contudo, existem opiniões recentes (REBOUÇAS, 1980, GIANCURSI & LOPES, 1980) segundo as quais a recarga seria garantida por uma "recarga artificial" proveniente das perdas da rede de distribuição da água. Para se ter uma ordem de grandeza, efetuamos um rápido cálculo do volume de água proporcionado por essas perdas para o aquífero.

Para o ano 1980, a vazão aduzida foi de $27 \text{ m}^3/\text{s}$ de água no Município de São Paulo e as perdas foram avaliadas em 30% (KOCHE & BERENHAUSER, 1980). Entretanto, somente 15% correspondem a uma perda física (vazamentos), o restante correspondendo às "perdas por micromedicação" caracterizando-se pelo subregistro dos volumes utilizados pelos consumidores. Assim, considerando 15% de $27 \text{ m}^3/\text{s}$, teremos 255 milhões de m^3/ano , volume este muito superior ao volume de água subterrânea explorado avaliado em 100 milhões m^3/ano . Com efeito, segundo as estimativas do DAEE (1975) este seria de 39 milhões m^3/ano do aquífero sedimentar e 23 milhões m^3/ano do aquífero cristalino por poços profundos, e 40 milhões m^3/ano por poços rasos, no Município de São Paulo. Considerando que a rede de distribuição se restringe praticamente aos setores em condições econômicas de perfurar poços profundos, verifica-se que o volume explorado corresponde a apenas 25% do valor da "recarga artificial".

As recargas provenientes dos terrenos cristalinos ainda devem ser importantes, tendo em vista que estes terre

nos ocorrem principalmente na periferia da cidade, onde a impermeabilização do solo é ainda muito rarefeita.

Essas observações mostram que, por enquanto, a recarga dos aquíferos não constitui um fator limitante à sua exploração.

4. CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO

Os poços profundos perfurados no Município de São Paulo pertencem a condomínios de prédios, clubes esportivos, hotéis, hospitais e indústrias.

Na zona I de amostragem, zona de ocupação residencial, a maioria dos poços é localizada em prédios residenciais e clubes esportivos. Alguns dos prédios utilizam a água subterrânea somente para fins de limpeza, outros usam a água subterrânea para o uso doméstico em geral, incluindo o consumo humano. Mas, a maioria dos prédios utiliza a água subterrânea como fonte complementar da água distribuída pela rede pública, essas duas fontes de água chegando a um reservatório único de água que abastece a todas as necessidades domésticas. Os poços perfurados nessa zona bombeiam a água dos aquíferos somente algumas horas por dia. Em geral, a água não recebe tratamento ou qualquer controle antes do consumo.

Durante o trabalho de campo, 27% dos poços localizados nessa zona estavam desativados, muitos deles perfurados há somente alguns anos. De fato, constatamos que logo que surge algum problema técnico na exploração, muitas vezes o poço é abandonado, pois os proprietários não acreditam nas possibilidades de um bom serviço de manutenção, e consideram essa água subterrânea somente como fonte complementar. Vale observar que esses problemas técnicos decorrem de deficiências construtivas dos poços ou de precárias condições de trabalho das bombas.

Na zona II, encontramos uma situação de exploração dos aquíferos diferente, pois todos os poços aí perfurados pertencem a indústrias de vários setores de atividade (química, alimentação, têxtil,...). Várias indústrias possuem 2 a 5 poços. As indústrias, grandes consumidoras de água, exploram os aquíferos como fonte complementar da água aduzida, mas, de maneira intensiva. A manutenção é, geralmente, realizada pelas suas próprias equipes. A qualificação do pessoal técnico da indústria induz um melhor dimensionamento dos sistemas de bombeamento e das características construtivas dos poços.

O local de implantação de um poço e técnicas de complementação, devem ser de tal forma que previnam uma eventual poluição por infiltração de águas de escoamento superficial. Assim, o revestimento deve ultrapassar alguns centímetros acima da superfície do solo e ser cimentado. O terreno adjacente deve ser livre de qualquer material representando risco de poluição.

Constatamos nas zonas de estudo que, embora a maioria dos poços apresente algumas dezenas de centímetros de tubo acima da superfície do solo conforme as recomendações, a sua localização e complementação não obedecem às boas práticas construtivas. Muitas vezes, sobretudo os poços pertencentes a edifícios residenciais, são perfurados em um canto da garagem situada no subsolo, quer dizer na cota mais baixa do terreno. Gasolina, óleo, detergentes, constituem elementos poluidores, trazidos dos arredores do poço pelas águas de limpeza ou de inundação pelas chuvas. Em relação aos poços perfurados em terrenos industriais, notamos também a mesma falta de precauções quanto à ocupação do solo nos arredores. As fontes de poluição nesses casos são numerosas. Foram encontrados alguns casos onde o poço é localizado em uma caixa abaixo da superfície, pois a indústria não quis perder um sô metro quadrado de superfície utilizável. Qualquer chuva provoca a inundação do local e penetração das águas de escoamento no poço.

Uma vez o poço perfurado e equipado, as compa-

nhas de perfuração aconselham efetuar uma manutenção cada dois ou três anos, a fim de prevenir problemas de exploração ligados à bomba ou incrustações nos filtros. Segundo fomos informados pelos proprietários, quase nunca se realiza esse tipo de manutenção preventiva.

As observações de campo evidenciaram que as condições de exploração das águas subterrâneas não são das melhores, em particular, não existe qualquer preocupação quanto à proteção sanitária das perfurações que podem constituir pontos de acesso de poluições dos aquíferos.

Na situação atual, a avaliação quantitativa da exploração das águas subterrâneas é muito difícil, pois, não existe um quadro legislativo que obrigue os proprietários a fornecer informações quanto ao uso do poço. Qualquer um pode mandar perfurar um poço profundo na sua propriedade e utilizá-lo de forma livre. Os dados relativos à perfuração, fornecidos pelas Companhias, não são suficientes para isso, pois, numerosos poços são abandonados.

C A P Í T U L O I V

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS

1. OS DADOS DISPONÍVEIS

Apesar de existirem milhares de análises de águas de poços profundos, realizadas a pedido dos proprietários a fim de determinar sua potabilidade, estes dados não foram de grande utilidade para a presente pesquisa. Não existe um órgão que centralize essas análises realizadas por diferentes laboratórios da Capital e, na ausência de uma legislação sobre a exploração das águas subterrâneas e o seu uso, não se pode obrigar o proprietário a fornecer esses dados.

Na pesquisa junto às companhias de perfuração encontramos 16 análises de potabilidade, número este reduzido em relação aos 98 poços cadastrados, e cujos dados são apresentados na tabela 1. Podemos notar que as determinações químicas são limitadas a certos elementos. Os constituintes principais da água tais como bicarbonatos, cloretos, sulfatos, nitratos, sódio, potássio, cálcio, magnésio não são analisados em todos os casos. Esse tipo de análise não pode servir de base a um estudo geoquímico das águas.

ROSS (1981) realizou um estudo sobre a "qualidade das águas subterrâneas no espaço urbano da Grande São Paulo" baseando-se sobre as análises químicas de água efetuadas a pedido dos proprietários de poços pelo Instituto Adolfo Lutz, órgão ligado à Secretaria da Saúde. Chegou à conclusão que a primeira causa da "não potabilidade" destas águas era o teor excessivo de ferro e a segunda o teor excessivo de nitratos ou de Coliformes. Vale observar que a maior parte das amostras analisadas foram coletadas imediatamente após a construção dos poços. Neste particular, o acompanhamento da perfuração de poços indica que boa parte dos casos de contaminações pode ser atribuída à falta de cuidados higiênicos durante a perfuração, colocação de filtros, revestimento e até instalação de bombas. Com efeito, fomos informados de um caso onde as primeiras amostras da água do poço acusaram contaminação por Coliformes, excesso de ferro e de nitratos.

Tab. 1 - DADOS DE ANÁLISES DISPONÍVEIS (mg/l)

Nº POÇO	ANO ANÁLISE	pH	RESÍDUO SECO	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Na	K	Mg	Ca	Fe	Si	COLI FORMES
5	1962	6,7	46	2,44	1		0					0,3		
6	1972	5,8	53	9,76	4,5	0,33	0	3,78	1	0,49	1,6	0,1	10,44	0
8	1980	6,1	42	5,1	2,5	0,03	8,4	0,4	0,09	0,04	0,35	1,1	5,2	+
11	1974	6,1	31	4,2	5	0	0	3,46	1,1	1	2,4	0,2	4,87	0
16	1973	7,5	40	3,66	3,5		1,32					0,3		
17	1975	5,8	38	3,66	2		0					0,2		0
20	1971	6,2	47	12,2	3	2,26	0	2,83	2,04	1,93	4	0,2	7,1	0
30	1971	6,6	65	17,1	1,5		0					1,6		0
42	1973	6,6	192	58,56	12	3	0,9					0,62	13,58	+
50	1976	6,9	288	97,6	7,5		8					0,3		+
127	1975	6,5	102	30,5	2,5	0	7,5	8,3	2,2	2,42	15,2	0,2	4,76	0
132	1975	6,2	68	12,2	0,75	0	0,88	6,2	2	7,7	7,2	0,6	2,47	0
133	1967	6,4	154	57,34	9,5		0					0,7		+
136	1973	6,8	209	83,9	10	1	0	5,6	1,7	10,64	44	0,3	6,37	0
137	1975	6,8	383	68,3	30	80	0	10,8	7,4	7,7	43,6	0,6	5	+
138	1971	6,7	243	54,9	17	0,74	5,75	12,8	3,15	5,56	32	0,2	3,37	0

Média

+ presença de Coliformes
0 ausência de Coliformes

Foi procedida então a desinfecção recomendada, com uso de hipoclorito de sódio e bombeamento prolongado. Após três dias de limpeza as amostras de água analisadas já atendiam os padrões de potabilidade.

O DAEE (1975) amostrou a água de cem poços espalhados na Região da Grande São Paulo. A Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente (CETESB) analisou essas amostras do ponto de vista químico e bacteriológico. As análises químicas compreenderam a determinação das concentrações de cloretos, sulfatos, nitratos, nitritos, fluoretos, cálcio, magnésio, sódio, boro, ferro, manganês, cromo, chumbo, amônia, detergentes.

Os resultados desse estudo mostraram que as águas têm um baixo teor total de sais. Trinta e oito por cento das águas apresentaram teores elevados de ferro e/ou manganês excedendo as normas de potabilidade; dois terços dessas águas apresentaram também turbidez e/ou cor indesejáveis. Essas águas foram extraídas essencialmente do aquífero sedimentar. Não se encontrou porém correlação entre o tipo de aquífero e os outros constituintes químicos. Concentrações excessivas de fluoreto foram encontradas em cinco casos e de nitrogênio (correspondendo à soma dos nitratos e nitritos) em nove casos. No tocante aos outros elementos, a qualidade da água foi boa. Mas, do ponto de vista bacteriológico, os resultados evidenciaram cinquenta e cinco casos que não atenderam os padrões de qualidade, seja pela presença de Coliformes, seja por uma contagem de placas excessiva.

A CETESB, órgão encarregado do controle da qualidade do meio ambiente no Estado de São Paulo, não realiza controle sobre as águas subterrâneas da região.

Essas características dos dados existentes sobre a composição química das águas subterrâneas serviram para mostrar que era indispensável um melhor conhecimento da geoquímica das águas da região.

2. AS ANÁLISES REALIZADAS

2.1. Metodologia

As amostras de água foram obtidas por bombeamento dos poços profundos, e coletadas conforme as recomendações do laboratório encarregado das análises químicas, "Laboratório de Radioquímica e Química Analítica" do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo.

Em geral, as amostras de águas destinadas a análises químicas, deve ser adicionado, no momento da coleta no campo, 1 ml de ácido nítrico concentrado, ou ácido sulfúrico concentrado, ou clorofórmio. Essas técnicas de preservação química têm como objetivo a estabilização dos elementos dissolvidos, durante o transporte e o armazenamento, a fim de que a análise realizada pelo laboratório seja a mais representativa possível da água no seu meio ambiente. Dependendo do elemento químico analisado, devem ser levadas em conta recomendações a respeito da técnica de preservação e do tempo de armazenamento, isto é, entre o momento da coleta e o momento da análise (UNESCO, 1978, SCALF et alii, 1981). Para análises de sódio, potássio, cálcio, magnésio, silício, cloretos, sulfatos, não se exige um tipo de preservação específica, nem um tempo limite para análise. Os carbonatos e bicarbonatos devem ser analisados no mesmo dia da coleta, assim como os nitratos, nitritos, amônios; para análise dos três últimos elementos recomenda-se a adição de ácido sulfúrico concentrado ou de clorofórmio. Análises de metais não tem tempo limite, mas as amostras devem ser fixadas por ácido nítrico concentrado que evita a precipitação desses elementos. Essas recomendações podem variar de um laboratório para outro.

A metodologia usada no campo foi diferente para a amostragem da zona I (realizada de 3 a 17/11/80) e da zona II realizada de 20/08 a 15/09/81). Na zona I, 33 poços foram amostrados, sendo coletadas duas amostras de cada poço, em garrafas de polietileno de 0,5 l. Numa foi acrescentado 0,5 ml de áci

do sulfúrico concentrado e na outra 0,5 ml de clorofórmio. O clorofórmio destina-se a estabilizar mais particularmente os sulfatos, nitratos e amônios. Na zona II, 14 poços foram amostrados. Conforme novas recomendações do laboratório (CENA), as amostras foram fixadas com ácido nítrico concentrado. Nessa época, adquirimos um pHmetro que permitiu realizar medidas de pH no campo e um condutivímetro que permitiu realizar medidas de condutividade (quatro horas depois da coleta) sobre uma amostra natural. As medidas realizadas a temperatura ambiente do laboratório, foram corrigidas pelo fator correspondente (LOGAN, 1965) a fim de expressá-las a 25°C. Reamostramos alguns poços da zona I a fim de dispor de algumas medidas de condutividade também nesse setor. As amostras apresentaram-se, em geral, sem turbidez e coloração aparente (exceto a de número 26 que apresentou sólidos em suspensão e cor vermelha), e não foram filtradas antes de adicionar ácido que pode, portanto, dissolver sólidos em suspensão.

Após a coleta, as amostras foram mandadas para o laboratório do CENA que possui um programa de rotina para análises de águas, essencialmente baseado sobre o espectrômetro de emissão atômica com plasma de argônio induzido, programado para a análise simultânea de 17 elementos por amostra de água. As análises foram realizadas nos três meses seguintes a coleta.

Os seguintes elementos: sódio, cálcio, magnésio, silício, prata, alumínio, boro, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, níquel, fósforo, chumbo e zinco foram analisados por emissão atômica com plasma de argônio induzido. O potássio foi analisado por absorção atômica, o amônio, nitrato e cloreto por colorimetria, e o sulfato por turbidimetria. Os íons amônio e nitrato não foram analisados nas amostras da zona II fixadas com ácido nítrico. De qualquer maneira, não são muito significativas essas determinações que devem ser realizadas pelo laboratório nas 24 horas seguintes a coleta.

Era previsto que os íons carbonato e bicarbonato fossem analisados também pelo laboratório do CENA, isto não foi

feito, pois essas determinações devem ser realizadas no mesmo dia da coleta. Carbonatos e bicarbonatos, portanto, não foram analisados nas amostras da zona I. Durante a amostragem da zona II, realizamos essa dosagem, no máximo cinco horas após a coleta, no laboratório de geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. O método usado foi a titulação por ácido clorídrico N/100.

Essa parte analítica do trabalho foi limitada, por falta de recursos financeiros; por exemplo, análises bacteriológicas teriam completado a caracterização das águas, em particular no tocante a sua potabilidade. Devido ao reduzido número de análises, não se justificou a realização de um tratamento estatístico.

Como destacamos no item anterior, o trabalho mais completo do assunto, é baseado sobre 100 análises espalhadas na Grande São Paulo. O nosso estudo, realizado numa escala maior, permite uma análise mais fina da geoquímica das águas subterrâneas. Não pretendemos chegar a uma caracterização química regional dos aquíferos, mas evidenciar alguns fatos, válidos a escala local, que deverão ajudar futuros trabalhos nesse domínio.

2.2. Os Resultados Analíticos

Os resultados fornecidos pelo laboratório de química são expressos em mg/l, e encontram-se nas tabelas 2 e 3. Esses elementos são dissolvidos sob forma de íons simples ou compostos (exceto o silício que se encontra sob forma molecular).

As concentrações dos elementos maiores (Tabela 2), expressas em mg/l, foram convertidas em meq/l (Tabela 4), evidenciando assim as quantidades iônicas em reação.

A soma dos íons (Σ íons) que consta das tabelas 2

e 4 foi obtida pela simples adição das concentrações para cada amostra e esse valor representa os sólidos totais dissolvidos (STD).

Visto o pequeno volume de ácido acrescentado às amostras, os resultados não foram corrigidos.

Teoricamente, o número dos miliequivalentes negativos deve ser igual ao número dos miliequivalentes positivos. Na prática, as análises apresentam sempre uma certa porcentagem de erro. Este, é definido pela equação $\frac{\Sigma \text{ cat\~{i}ons} - \Sigma \text{ an\~{i}ons}}{\Sigma \text{ \~{i}ons}} \cdot 100$.

Análises completas dos íons maiores só foram realizadas sobre as amostras da zona II. Como vimos anteriormente, os bicarbonatos não foram analisados sobre as amostras da zona I. Calculamos, portanto, a porcentagem de erro relativa às amostras da zona II, sendo que os nitratos foram desprezados por apresentarem teores muito baixos na região. Os resultados, apresentados na tabela 5, mostram que a maioria das análises apresentam uma porcentagem de erro inferior a 5%, o que é julgado satisfatório. As duas amostras com erro superior a 10%, apresentam um total de íons muito baixo, inferior a 1 meq/l. Neste caso, um pequeno erro absoluto, na determinação de um elemento, os nitratos por exemplo, pode redundar uma grande porcentagem de erro. Face a esses resultados, consideramos a possibilidade de avaliar a concentração dos bicarbonatos, não determinada nas amostras da zona I, pelo balanço iônico $\Sigma \text{ cat\~{i}ons} - (r\text{SO}_4 + r\text{Cl} + r\text{NO}_3)$. Portanto, as concentrações de bicarbonatos das tabelas 2 e 4 foram avaliadas em meq/l (convertidos depois em mg/l) para as amostras da zona I, enquanto foram determinadas no laboratório para as amostras da zona II.

A caracterização geoquímica das águas (Ítem 3) baseia-se essencialmente sobre as concentrações dos constituintes maiores, enquanto as concentrações dos elementos menores são mais importantes relativamente à qualidade das águas em termos de potabilidade (Ítem 4).

Tab. 2 - RESULTADOS DE ANÁLISES: ELEMENTOS MAIORES (mg/l)

Nº POÇO	Na	Ca	Mg	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Σ ions	Si	pH	cond. 25°C (μmho/cm)
1	0,92	8,68	0,36	2,7	19,52	<1	7	0,17	39,35	2,55		
5	<0,1	0,73	3,05	0,2	14,03	<1	2	<0,05	20,01	3,45		
9	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<1	<1	2,12	0,5	2,82	3,69	8,2	17
10	2,83	<0,1	<0,1	<0,1	2,44	<1	2,96	1,62	9,85	2,39		
11	<0,1	<0,1	<0,1	2,6	2,44	<1	1,25	0,45	6,74	7,04		
14	5,13	0,14	<0,1	0,93	13,42	<1	1,3	2,32	23,24	4,05	5,3	5
16	0,19	<0,1	<0,1	<0,1	2,44	<1	1,88	0,56	5,07	3,83	7,8	17
17	<0,1	0,64	<0,1	3,6	6,1	<1	0,8	0,08	11,22	8,64		
18	<0,1	0,97	<0,1	1,67	2,44	1,5	1,63	0,42	8,63	7,09		
19	1,62	1,83	0,77	6,9	15,86	4,29	1,75	0,4	33,42	22,72	5,9	67
21	9,95	0,42	0,19	1,33	3,05	<1	15,94	1,41	32,29	3,59		
22	2,43	0,1	<0,1	3,05	5,49	<1	3,18	1,44	15,69	7,87		
23	0,96	0,73	0,55	6,7	13,42	6	2,5	0,92	31,78	18,87		
24	0,24	0,1	0,1	3,85	3,05	<1	2,25	0,38	9,97	9,64		
26	0,16	0,28	0,3	3	3,66	<1	2	<0,05	9,4	38,57	6,5	43
27	<0,1	0,3	0,41	4,4	5,49	<1	2	0,45	13,05	12,82		
28	2,48	3,37	0,84	7	24,4	6	0,33	<0,05	44,42	27,32	6,3	86
29	1,57	1,05	0,41	4,3	5,49	4,29	2,73	0,43	20,27	14,53		
30	0,81	7,8	0,54	1,87	21,35	7	0,83	0,22	40,42	2,88		
31	1,99	2,18	0,65	6,1	18,3	3,93	1,25	0,12	34,52	21,98		
32	1,81	2,35	0,78	4	15,25	3,57	1	0,05	28,81	25,72		
34	0,81	0,58	0,47	4,8	7,32	<1	3,52	1,71	19,21	11,38		
36	7,16	16,83	1,04	4	65,88	4,64	5,29	1,49	106,33	21,8		
38	22,53	9,15	2,03	5,43	100,65	2,86	1	<0,05	143,65	20	8,1	218
39	16,57	18,04	2,36	5,43	107,96	1	6,18	0,17	157,71	22,38		
40	27,01	34,68	2,24	5,71	172,02	5	10,94	<0,05	257,6	23,62	7,1	355
46	25,10	37,09	3,24	4,5	183	1	10	<0,05	263,93	19,66	7,5	362
47	2,5	8,25	0,73	1,93	14,03	8,33	7,79	<0,05	43,56	2,76		
50	42,58	23,41	1,79	4,9	175,68	<1	14,69	0,58	263,63	14,51		
52	20,55	22,49	2,44	5,36	124,44	<1	10,31	1,44	187,03	21,18		
53	7,71	14,22	2,61	3,45	73,81	2,5	2,96	<0,05	107,26	24,92		
54	0,52	1,81	0,54	1,67	8,54	<1	1,75	<0,05	14,83	12,77		
58	6,56	10,66	2,08	3,63	42,09	13,5	3,44	<0,05	81,96	15,41	7,1	120
102	3,79	0,18	0,2	2,94	3,05	<1	3,13		13,29	5,59	5,1	47
104	0,84	0,54	0,46	7,08	12,2	2,5	4,69		28,31	12,38	5,8	46
113	22,47	17,48	7,01	31,6	128,1	15	29,29		250,95	15	6,4	367
116	12,53	3,32	1,81	15,3	33,5	5,56	23,57		95,59	12,54	5,7	161
119	40,09	39,36	6,22	4,64	210	10	16		326,31	10,38	7,6	391
121	10,04	6,72	3,02	5,6	67,1	2,5	0,75		95,73	29,78	7,4	104
122	26,11	13,87	2,58	2,82	106,7	4,17	2,5		158,75	24,34	7,4	204
125	29,66	41,04	6,11	4,71	185,4	5,56	8,08		280,56	20,43	7,6	156
126	12,79	16,97	1,54	4,86	91,5	1,67	0,75		130,08	30,46	7	145
128	24,79	48,88	5,33	4,93	186	24,23	32,73		326,89	21,04	7,1	500
132	51,12	88,14	12,23	6,06	237,9	9,44	106,68		511,57	31,4	6,5	760
134	39,13	22,79	3,25	3,32	137,25	21,54	7,31		234,59	19,35	7,1	273
135	35,85	13,8	2,78	4,14	131,15	6,67	6,54		200,93	11,12	8,3	173
137	76,81	47,08	7,05	4	247	25	48		454,93	20,53	7,5	516

Tab. 3 - RESULTADOS DE ANÁLISES: ELEMENTOS MENORES (mg/l)

Nº POÇO	Ag	Al	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	NH ₄	P	Pb	Zn
1	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,01
5	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	1,78
9	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,29	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
10	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,24	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,81
11	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,15	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,01
12	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
16	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,99*	0,02	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,36
17	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,38*	0,02	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,75
18	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,30	0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,03
19	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	5,89*	0,04	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
21	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,57*	0,02	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
22	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,49*	0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,66
23	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,05	<0,02	7,86*	0,04	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,43
24	<0,05	0,64	<0,1	<0,1	<0,02	0,03	<0,02	0,18*	0,02	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,25
26	<0,05	0,2	<0,1	<0,1	<0,02	0,16*	<0,02	321*	0,18*	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	4,71
27	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	4,86*	0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,23
28	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	1,82*	0,06*	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,11
29	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,3	0,02	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,15
30	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
31	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,17	0,02	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,51
32	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,09
34	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,5*	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
36	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	1,05*	0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,09
38	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,16	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	1
39	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
40	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,03	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,02
46	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,95*	0,05	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,05
47	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,12*	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
50	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,04	<0,02	<0,1	0,03	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	2,28
52	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,04	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,28
53	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	0,08
54	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,02	<0,02	<0,1	<0,01	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	<0,01
58	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	0,1	<0,02	<0,05	<0,1	<0,05	1,66
102	<0,05	<0,02	<0,1	0,11	<0,02	<0,02	<0,02	0,36*	0,02	<0,02		<0,1	<0,05	<0,01
104	<0,05	<0,02	<0,1	0,12	<0,02	<0,02	<0,02	1,5*	0,26*	<0,02		<0,1	0,05	<0,01
113	<0,05	<0,02	<0,1	1,34*	<0,02	0,05	<0,02	1,07*	0,88*	<0,02		<0,1	<0,05	0,03
116	<0,05	<0,02	<0,1	1,2*	<0,02	<0,02	<0,02	0,38*	0,05	<0,02		<0,1	<0,05	<0,01
119	<0,05	<0,02	<0,1	0,27	<0,02	0,03	<0,02	1,6*	1,25*	<0,02		<0,1	<0,05	1,1
121	<0,05	<0,02	<0,1	0,25	<0,02	<0,02	<0,02	0,13	<0,01	<0,02		0,11	0,05	1,33
122	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,21	0,1*	0,02		<0,1	0,08*	0,03
125	<0,05	<0,02	<0,1	0,42	<0,02	0,03	<0,02	0,12	0,14*	<0,02		<0,1	0,06*	0,02
126	<0,05	<0,02	<0,1	0,27	<0,02	<0,02	<0,02	0,41*	0,13*	<0,02		0,15	0,06*	0,01
128	<0,05	<0,02	<0,1	0,16	<0,02	0,1*	<0,02	<0,1	0,14*	<0,02		0,14	0,05	<0,01
132	<0,05	<0,02	<0,1	1,2*	<0,02	0,12*	<0,02	6,81*	0,72*	0,02		0,20	0,08*	0,21
134	<0,05	<0,02	<0,1	<0,1	<0,02	0,03	<0,02	<0,1	0,04	<0,02		<0,1	0,06*	0,08
135	<0,05	<0,02	<0,1	0,18	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	0,05	<0,02		<0,1	<0,05	<0,01
137	<0,05	<0,02	<0,1	0,13	<0,02	0,05	<0,02	0,91*	0,21*	0,02		<0,1	<0,05	<0,01

*Concentração acima dos padrões definidos pelo Decreto Estadual nº 12.486 de 20/11/78, NTA-60

Tab. 4- RESULTADOS DE ANÁLISES: ELEMENTOS MAIORES (meq/l)

Nº POÇO	rNa	rCa	rMg	rK	rHCO ₃	rSO ₄	rCl	rNO ₃	Σ ions
1	0,04	0,43	0,03	0,07	0,35	<0,02	0,22	<0,01	1,14
5	<0,01	0,04	0,25	<0,01	0,23	<0,02	0,06	<0,01	0,58
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	0,06	<0,01	0,06
10	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,02	0,08	0,03	0,24
11	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,04	<0,02	0,03	<0,01	0,14
14	0,22	0,01	<0,01	0,03	0,18	<0,02	0,04	0,04	0,52
16	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	0,05	0,01	0,07
17	<0,01	0,03	<0,01	0,09	0,1	<0,02	0,02	<0,01	0,24
18	<0,01	0,05	<0,01	0,04	0,01	0,03	0,05	<0,01	0,18
19	0,07	0,09	0,06	0,18	0,26	0,09	0,05	<0,01	0,8
21	0,43	0,02	0,02	0,03	0,03	<0,02	0,45	0,02	1
22	0,1	<0,01	<0,01	0,08	0,07	<0,02	0,09	0,02	0,36
23	0,04	0,04	0,04	0,17	0,1	0,12	0,07	<0,01	0,58
24	0,01	<0,01	<0,01	0,1	0,05	<0,02	0,06	<0,01	0,22
26	0,01	0,01	0,02	0,08	0,06	<0,02	0,06	<0,01	0,24
27	<0,01	0,01	0,03	0,11	0,09	<0,02	0,06	<0,01	0,3
28	0,11	0,16	0,07	0,18	0,4	0,12	0,01	<0,01	1,04
29	0,07	0,05	0,03	0,11	0,09	0,09	0,08	<0,01	0,52
30	0,04	0,39	0,04	0,05	0,35	0,15	0,02	<0,01	1,04
31	0,09	0,11	0,05	0,16	0,3	0,08	0,03	<0,01	0,82
32	0,08	0,11	0,06	0,1	0,25	0,07	0,03	<0,01	0,7
34	0,04	0,03	0,04	0,12	<0,01	<0,02	0,35	0,03	0,51
36	0,31	0,84	0,08	0,1	1,06	0,1	0,15	0,02	2,66
38	0,98	0,46	0,17	0,13	1,65	0,06	0,03	<0,01	3,48
39	0,72	0,9	0,19	0,14	1,76	0,02	0,17	<0,01	3,9
40	1,17	1,73	0,18	0,15	2,82	0,1	0,31	<0,01	6,46
46	1,09	1,85	0,27	0,11	3,02	0,02	0,28	<0,01	6,64
47	0,1	0,41	0,06	0,05	0,23	0,17	0,22	<0,01	1,24
50	1,85	1,17	0,15	0,12	2,87	<0,02	0,41	0,01	6,58
52	0,89	1,12	0,2	0,14	2,04	<0,02	0,29	0,02	4,70
53	0,33	0,71	0,21	0,09	1,21	0,05	0,08	<0,01	2,68
54	0,02	0,09	0,04	0,04	0,14	<0,02	0,05	<0,01	0,38
58	0,28	0,53	0,17	0,09	0,69	0,28	0,1	<0,01	2,14
102	0,16	0,01	0,02	0,07	0,05	<0,02	0,09		0,4
104	0,04	0,03	0,04	0,18	0,2	0,05	0,13		0,67
113	0,98	0,87	0,58	0,81	2,1	0,31	0,83		6,48
116	0,54	0,16	0,15	0,39	0,55	0,12	0,66		2,57
119	1,74	1,96	0,51	0,12	3,45	0,2	0,45		8,43
121	0,44	0,33	0,25	0,14	1,1	0,05	0,02		2,33
122	1,13	0,69	0,21	0,07	1,75	0,09	0,07		4,01
125	1,29	2,04	0,5	0,12	3,04	0,12	0,23		7,34
126	0,56	0,85	0,13	0,12	1,5	0,03	0,02		3,21
128	1,08	2,44	0,44	0,13	3,05	0,5	0,92		8,56
132	2,22	4,4	1	0,15	3,9	0,2	3		14,87
134	1,7	1,14	0,27	0,08	2,25	0,45	0,21		6,1
135	1,56	0,69	0,23	0,11	2,15	0,14	0,18		5,06
137	3,34	2,35	0,58	0,1	4,05	0,52	1,35		12,29

Tab. 5 - PORCENTAGEM DE ERRO DAS ANÁLISES RELATIVAS AS AMOSTRAS DA ZONA II

Nº	Σ cations(meq/l)	Σ anions(meq/l)	% ERRO
102	0,26	0,14	30
104	0,29	0,38	13,4
113	3,24	3,24	0
116	1,24	1,33	3,5
119	4,33	4,1	2,7
121	1,16	1,17	0,4
122	2,1	1,91	3,1
125	3,9	3,39	7,6
126	1,66	1,55	3,4
128	4,09	4,47	4,4
132	7,77	7,1	4,5
134	3,19	2,91	4,6
135	2,59	2,47	2,4
137	6,37	5,92	3,7

3. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS

A composição química das águas subterrâneas é adquirida fundamentalmente das rochas e solos que elas atravessam, daí o fato de refletir, comumente, a natureza da litologia e o tipo e grau de intemperismo reinante. Nas zonas de amostragem, as águas provêm de dois aquíferos diferentes, o cristalino e o sedimentar. Nestas condições, orientamos a discussão dos resultados obtidos no sentido de evidenciar eventuais correlações entre a composição química das águas e a litologia do ambiente de extração.

3.1. Apresentação dos Resultados

- Sólidos totais dissolvidos

O exame da tabela 2 mostra nitidamente duas populações de amostras: uma constituída por águas com teores muito baixos de elementos dissolvidos cuja soma dos íons é inferior a 45 mg/l, e outra, por águas com teores mais elevados cuja soma dos íons é superior a 80 mg/l.

Os dados constantes no anexo (profundidade total do poço, profundidade do embasamento cristalino) evidenciam que os 26 poços que apresentam águas pouco mineralizadas exploram o aquífero sedimentar (exceto os n.ºs. 47 e 104), enquanto que os outros 21 com águas mais mineralizadas exploram o aquífero cristalino (exceto os n.ºs. 113 e 116). Calculamos a composição química média das águas destes dois aquíferos, baseada na análise de 24 amostras para o aquífero sedimentar e 19 para o cristalino. A tabela 6 evidencia esse carácter diferencial.

A condutividade da água, proporcional à carga iônica, é conseqüentemente mais elevada nas águas extraídas do aquífero cristalino (da ordem de centenas de $\mu\text{mho/cm}$), e baixa no aquífero sedimentar (da ordem de dezenas de $\mu\text{mho/cm}$). O gráfico da figura 13 relacionando o teor total de elementos dissol

Tab. 6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA (mg/l)

AQUÍFERO	Na	Ca	Mg	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Σ ions	Si
Sedimentar	1,62	1,44	0,46	3,04	9,06	2,19	2,71	0,6	21,12	11,62
Cristalino	27,48	27,64	3,68	4,6	139,2	7,5	15,48	0,44	225,58	21,17

Tab. 7 - CONCENTRAÇÃO DE FERRO (mg/l) SEGUNDO O TIPO DE PRESERVAÇÃO DA AMOSTRA

PRESERVAÇÃO COM	Nº POÇO	1	5	9	10	11	12	16	17	18	19	21	22	23	24	26	27	28
H ₂ SO ₄		<0,1	<0,1	0,29	0,24	0,15	0,1	0,99	0,38	0,30	5,89	0,57	0,49	7,86	0,18	321	4,86	1,82
CHCl ₃		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,64	<0,1	<0,1	<0,1	0,49

PRESERVAÇÃO COM	Nº POÇO	29	30	31	32	34	36	38	39	40	46	47	50	52	53	54	58
H ₂ SO ₄		0,3	0,1	0,17	<0,1	0,5	1,05	0,16	<0,1	<0,1	0,95	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CHCl ₃		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fig. 13 - ELEMENTOS DISSOLVIDOS EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE A 25°C

vidos ($\Sigma \text{Íons}$) e a condutividade (C), permite avaliar a mineralização das águas pela equação $\Sigma \text{Íons} \approx 0,75.C$ no caso da zona II.

- Cátions alcalinos

Os teores de sódio são muito baixos nas águas extraídas dos sedimentos, com valores situados entre 0,1 e 10mg/l, com média ao redor de 1,62 mg/l, e mais elevados nas águas extraídas da rocha cristalina onde os teores se situam entre 7 e 77 mg/l, com média de 27,48 mg/l.

Da mesma forma, os teores de potássio são muito variáveis, de menos de 0,1 até 32 mg/l. Entretanto, neste caso não existe uma nítida correlação entre concentração de potássio/litologia do aquífero. As médias, de 3,04 mg/l no sedimentar e 4,6 mg/l no cristalino, são sensivelmente semelhantes.

- Cátions alcalino-terrosos

Os teores de cálcio, baixos nas águas extraídas dos sedimentos, com teores variando de menos de 0,1 a 9 mg/l com média igual a 1,44 mg/l, aumentam substancialmente nas águas extraídas de rochas cristalinas onde os valores variam de 9 a 88 mg/l, com média de 27,64 mg/l.

O magnésio, com teores variando de 0,1 a 3 mg/l e média de 0,46 mg/l nas águas dos sedimentos, aumenta ligeiramente nas águas do cristalino onde os teores variam de 1 a 12 mg/l com média de 3,68 mg/l.

O cálcio e o magnésio são os principais íons responsáveis pela dureza da água, a qual é expressa em mg/l de CaCO_3 e calculada pela soma do teor de CaCO_3 correspondente ao cálcio e do teor de CaCO_3 correspondente ao magnésio. Com base nas composições médias, podemos caracterizar as águas de aquífero sedimentar como águas muito moles, com dureza média da ordem de 5,5 mg/l CaCO_3 , e as águas do aquífero cristalino como media-

namente duras, com dureza média da ordem de 84,26 mg/l CaCO_3 .

- Cloretos

Os cloretos apresentam teores variando de 0,3 a 107 mg/l. As águas do aquífero cristalino apresentam um teor médio de 15,48 mg/l, superior ao teor médio das águas dos sedimentos que se situa ao redor de 2,71 mg/l. Entretanto, o exame da tabela 2 não evidencia uma correlação nítida entre concentração de cloreto/natureza do aquífero, sendo o valor mais elevado da média das águas do aquífero cristalino relacionado aos teores altos encontrados em algumas amostras.

- Sulfatos

A maior parte das águas provenientes do aquífero sedimentar apresenta teores baixos, inferiores a 1 mg/l, a média situa-se ao redor de 2,19 mg/l. Nas águas provenientes da rocha cristalina, a concentração de sulfatos varia de menos de 1 mg/l até 25 mg/l com média de 7,5 mg/l. Os valores mais elevados correspondem às águas coletadas na zona II.

- Nitratos

As águas apresentam concentrações baixas de nitratos, exibindo teores variando de menos 0,5 a 2 mg/l. Os teores parecem ligeiramente mais elevados nas águas do aquífero sedimentar do que naquelas do cristalino referente à zona I, onde as médias exibidas são respectivamente 0,6 e 0,44 mg/l.

- Bicarbonatos

A alcalinidade das amostras, que significa a ca-

pacidade da solução de neutralizar um ácido, é essencialmente devida aos íons bicarbonatos. Os íons carbonatos, cujo teor é sabidamente desprezível em soluções com valores de pH inferiores a 8,3, não foram constatados em nossas águas. Os teores de bicarbonatos variando de menos de 1 até 24 mg/l nas águas do aquífero sedimentar com valores médios da ordem de 9,06 mg/l, são nitidamente inferiores àqueles encontrados no aquífero cristalino, cujos teores variam entre 42 e 247 mg/l, com média igual a 139,2 mg/l.

Notamos uma certa tendência de correlação positiva dos teores de cada um dos elementos com o teor total dos elementos dissolvidos, tendência esta que se torna nítida no caso dos bicarbonatos. A construção do gráfico representando a soma dos íons dissolvidos em relação à concentração dos bicarbonatos (Fig. 14) evidencia uma correlação linear $\Sigma \text{ íons} = 1,5 \cdot \text{HCO}_3$, mais nítida do que em relação à condutividade.

- Silício

As águas estudadas apresentam valores de pH inferiores a 9 e teores em sílica inferiores a 64,3 mg/l (ou 30 mg/l de silício) de forma que todo o silício dissolvido encontra-se sob a forma molecular $\text{Si}(\text{OH})_4$. Os teores de silício variam de 2 a 30 mg/l, sendo os mais baixos, entre 2 e 10 mg/l, relativos ao aquífero sedimentar.

- Elementos Menores

Os métodos utilizados para a dosagem dos elementos menores não são adequados para a determinação de teores muito baixos. Os resultados permitem avaliar a potabilidade das águas (conforme veremos no item seguinte), mas não atendem aos objetivos mais amplos da geoquímica. O exame da tabela 3 mostra que os elementos menores das águas estudadas apresentam, em ge-

Fig. 14 - ELEMENTOS DISSOLVIDOS EM FUNÇÃO DO TEOR DE BICARBONATOS

ral, teores inferiores ao limite de detecção do aparelho de medida.

Vale destacar o ferro que apresenta teores relativamente altos para um elemento menor, em particular nas amostras extraídas do aquífero sedimentar. A concentração de 321 mg/l a apresentada pela amostra 26 não corresponde ao teor em ferro dissolvido encontrado naturalmente, mas sim, ao ferro total cuja parte preponderante encontra-se na forma de partículas em suspensão que foram dissolvidas pela adição de ácido concentrado no momento da coleta. Face a esses resultados, analisamos novamente esse elemento nas amostras fixadas por clorofórmio (amostras coletadas na zona I); os resultados obtidos (Tab.7) confirmam o fato dos altos teores de ferro corresponderem a sólidos em suspensão dissolvidos. A maior parte das amostras apresenta teores de ferro dissolvido inferiores a 0,1 mg/l.

A análise dos resultados evidenciou duas categorias de águas: uma, que corresponde às águas extraídas do aquífero sedimentar, se caracteriza por um teor de sólidos dissolvidos muito baixo. A outra, correspondente às águas extraídas do aquífero cristalino, apresenta teor mais elevado de elementos dissolvidos, principalmente devido às maiores concentrações dos íons sódio, cálcio, magnésio e bicarbonato. Os poços 38,39,52 e 53 apresentam águas que pertencem nitidamente a essa última categoria, embora esses poços tenham características construtivas (filtros) que permitem a exploração dos dois aquíferos.

Os trabalhos realizados sobre esse assunto, citados no ítem 1, não tinham evidenciado essa correlação entre litologia do aquífero/composição química das águas, provavelmente por causa da menor escala de amostragem. Essa correlação, deduzida dos nossos dados analíticos, é corroborada pelas poucas análises realizadas a pedido dos proprietários de poços (tab.1).

3.2. Classificação Química das Águas

Uma das maneiras de se caracterizar a composição química da água, é a simples comparação das concentrações dos íons principais expressas em meq/l e das suas relações características. A água extraída do aquífero sedimentar caracteriza-se por:

$$rNa \approx rCa \approx rK > rMg, \quad rCl \approx rSO_4 = rHCO_3 > rNO_3$$

enquanto a água extraída do aquífero cristalino caracteriza-se por:

$$rNa \approx rCa > rK \approx rMg, \quad rHCO_3 > rCl \approx rSO_4 > rNO_3$$

O uso do diagrama de Piper onde a composição química de cada amostra de água é representada por um ponto, permite a visualização dos resultados e a definição dos fácies hidroquímicos. A partir dos resultados expressos em meq/l (Tab.4), calculamos as porcentagens dos íons maiores em relação ao total de cátions e ânions (Tab.8). Não realizamos esse cálculo para todas as amostras provenientes do aquífero sedimentar devido aos baixos teores. Em particular, não faria sentido efetuar esse cálculo quando os cátions ou ânions apresentam valores abaixo do limite de detecção do aparelho. Com efeito quando a concentração total dos íons é pequena, pequenas variações de concentração absoluta dos íons provocam grandes variações de porcentagem, e a representação da análise no diagrama de Piper perde o seu sentido.

As figuras 15 e 16 mostram que podemos qualificar as águas do aquífero sedimentar como bicarbonatadas sódicas e potássicas e as águas do aquífero cristalino como bicarbonatadas cálcicas e sódicas. O agrupamento dos pontos na figura 16 mostra que o fácies bicarbonatado é mais marcado para as águas do aquífero cristalino.

Tab. 8 - ELEMENTOS MAIORES EM PORCENTAGEM DE meq/l

Nº POÇO	Na	Ca	Mg	K	HCO ₃	SO ₄	Cl
1	7	75,4	5,3	12,3	61,4	< 1	38,6
19	17,5	22,5	15	45	65	22,5	12,5
21	86	4	4	6	10	< 1	90
23	13,8	13,8	13,8	58,6	34,5	41,4	24,1
26	8,3	8,3	16,7	66,7	50	< 1	50
28	21,1	30,8	13,5	34,6	75	23,1	1,9
29	26,9	19,2	11,5	42,3	34,6	34,6	30,8
30	7,7	75	7,7	9,6	67,3	28,8	3,8
31	22	26,8	12,2	39	73,2	19,5	7,3
32	22,9	31,4	17,1	28,6	71,4	20	8,6
38	56,3	26,4	9,8	7,5	95	3,5	1,5
39	36,9	46,2	9,7	7,2	90,3	1	8,7
40	36,2	53,6	5,6	4,6	87,3	3,1	9,6
46	32,8	55,7	8,1	3,3	91	< 1	8,4
47	16,1	66,1	9,7	8,1	37,1	27,4	35,5
50	56,2	35,6	4,6	3,6	87,5	< 1	12,5
52	37,9	47,7	8,5	5,9	87,6	< 1	12,3
53	24,6	53	15,7	6,7	90,3	37	6
58	26,2	49,5	15,9	8,4	64,5	26,2	9,3
102	61,3	3,8	6,1	28,7	35,7	< 1	64,2
113	30,2	26,8	17,9	25	64,8	9,6	25,6
116	43,5	12,9	12,1	31,4	41,3	9	49,6
119	40,2	45,3	11,8	2,8	84,1	4,9	11
122	53,8	32,8	10	3,3	91,6	4,7	3,7
125	32,7	51,6	12,6	3	89,7	3,5	6,8
126	33,7	51,2	7,8	7,2	96,8	1,9	1,3
128	26,4	59,7	10,7	3,2	68,2	11,2	20,6
132	28,6	56,6	12,9	1,9	54,9	2,8	42,2
134	53,3	35,7	8,5	2,7	77,3	15,5	7,2
135	60,2	26,6	8,9	4,2	87	5,7	7,3
137	52,4	36,9	9,1	1,6	68,4	8,8	22,8

Fig. 15 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DO AQUIFERO SEDIMENTAR NO DIAGRAMA DE PIPER

3.3. Discussão

Como já frisamos, a mineralização da água depende das rochas que constituem o aquífero e do tipo de alteração que estas últimas sofrem, isto é do clima que, através da temperatura e da pluviosidade, condiciona a alteração dos minerais.

- Águas do aquífero sedimentar

Os sedimentos da bacia de São Paulo representam a deposição de produtos residuais decorrentes da atuação de processos intempéricos sobre as litologias precambrianas durante o Terciário. As condições climáticas existentes (presumivelmente idênticas às atuais) permitiram a formação de produtos constituídos por quartzo e argilominerais do grupo da caolinita, e a eliminação total, por lixiviação, dos elementos solúveis presentes nos minerais primários das rochas precambrianas (Ca, Na, K,...). Este tipo de alteração, monossialitização (PEDRO, 1964) dá origem a materiais com baixa capacidade de troca catiônica (MELFI & PEDRO, 1977).

Assim, quartzo (SiO_2) e caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), não podem ceder novos elementos às águas (a não ser um pouco de silício), e em particular nenhum cátion básico. Os óxidos e hidróxidos de ferro são pouco solúveis nas condições naturais. Portanto, os elementos dissolvidos na água dos sedimentos provêm essencialmente das águas de infiltração (chuva) e do solo. A chuva pode trazer alguns elementos tais como cátions básicos, cloretos e nas regiões industrializadas sulfatos. No solo, a água que se infiltra adquire uma certa quantidade de bicarbonatos por dissolução do gás carbônico, e de nitratos. Isso explica que as amostras da água do aquífero sedimentar apresentam concentrações muito baixas de elementos dissolvidos, típicas de terrenos lixiviados. Para complementar esse aspecto da discussão seria interessante realizar algumas análises da chuva na região; provavel-

ser correlacionado com a alteração da hornblenda.

Podemos explicar o fato da concentração de potássio não aumentar, através da grande facilidade desse elemento em incorporar-se a diferentes produtos de ciclo supérgeno (plantas, argilominerais secundários...) ou também, porque a alteração pode não atingir os feldspatos potássicos. Com efeito, a ordem de alterabilidade dos silicatos (GOLDICH, 1938) mostra que os feldspatos potássicos são menos alteráveis que a hornblenda e os plagioclásios:

Embora o potássio seja tão solúvel quanto o sódio, quando a alteração não é intensa, ele permanece nos feldspatos potássicos menos alteráveis do que os plagioclásios. Segundo TARDY (1969) que estudou a composição química de águas percolando em diferentes ambientes cristalinos, a razão $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (ou Na/K) pode servir de índice de alteração, os valores baixos correspondem a um tipo de alteração que atinge todos os feldspatos. Esse autor correlaciona a hidrólise total dos silicatos com meios bem drenados, onde as soluções são diluídas, e, a hidrólise incompleta com meios confinados onde as soluções são mais concentradas. Com efeito, a água do aquífero cristalino é relativamente concentrada.

Ainda, TARDY (1969) salienta que o teor de bicarbonatos apresenta uma correlação muito boa com a concentração dos cátions principais, podendo este servir de referência para avaliar a mineralização da água. As nossas análises evidenciaram nitidamente esse fato, conforme ilustramos na figura 14.

Considerando a alteração dos silicatos como origem dos íons principais da água do aquífero cristalino, podemos complementar esse aspecto a partir dos equilíbrios termodinâmicos envolvendo os silicatos. A consideração dos equilíbrios entre os feldspatos e os seus possíveis produtos de alteração, permite estabelecer diagramas que mostram o campo de estabilidade de cada mineral (GARRELS & CHRIST, 1965; TARDY, 1969).

A figura 17.a mostra que as soluções estão quase no limite do equilíbrio feldspato potássico/caolinita. As figuras 17.b e 17.c mostram que as águas do aquífero cristalino estão situadas no campo da bissialitização que se caracteriza pela formação de argilominerais do tipo montmorilonita (PEDRO, 1964), indicando a importância desta fase na alteração da rocha cristalina. Aliás, os perfis de alteração existentes na região evidenciam sempre, abaixo do solo laterítico, pouco espesso, constituído por caolinita, quartzo e óxidos e hidróxidos de ferro, a presença de um espesso manto de alteração caracterizado pela presença de minerais primários em decomposição, argilominerais do tipo montmorilonita, e caolinita. Parece ser este material o responsável pela mineralização das águas do aquífero cristalino.

A alteração dos minerais silicatados do aquífero cristalino pode explicar a composição da água, sobretudo do ponto de vista qualitativa. Do ponto de vista quantitativo, as concentrações, em particular dos bicarbonatos, parecem mais altas do que aquelas encontradas em geral em tais ambientes (TARDY, 1969; FETH et alii, 1964).

Não devemos desprezar o contexto urbano do estudo. No capítulo anterior, destacamos, em zonas onde foram coletadas as amostras do aquífero cristalino, a possibilidade de existir fluxo da água dos rios (Tietê e Pinheiros para os poços vizinhos). Essas águas superficiais, altamente poluídas, podem trazer uma certa quantidade de elementos químicos (bicarbonatos, sulfatos, nitratos...), às águas dos poços. A composição des-

Tab. 9 - COORDENADAS DOS DIAGRAMAS DE ESTABILIDADE

Nº	pH	SiO ₂ (mg/l)	Log [K ⁺] + pH	log [Na ⁺] + pH	log [Ca ²⁺] + 2pH
119	7,6	22,2	3,7	4,8	12,2
121	7,4	63,6	3,5	4	11
122	7,4	52	3,2	4,5	11,3
125	7,6	43,6	3,7	4,7	12,2
126	7	65	3,1	3,7	10,6
128	7,1	44,9	3,2	4,1	11,3
132	6,5	67	2,7	3,8	10,3
134	7,1	41,3	3	4,3	10,9
135	8,3	23,7	4,3	5,5	13,1
137	7,5	43,8	3,5	5	12,1

Fig. 17.a- DIAGRAMA DE ESTABILIDADE DO SISTEMA K₂O, Al₂O₃, SiO₂, H₂O a 250C, 1 atm.

Fig. 17b- DIAGRAMAS DE ESTABILIDADE DO SISTEMA CaO ,Al₂O₃, SiO₂, H₂O a 25°C e 1 atm.

Fig. 17.c- DIAGRAMA DE ESTABILIDADE DO SISTEMA Na₂O₂, Al₂O₃, SiO₂, H₂O a 25°C, 1 atm.

As águas superficiais foram estudadas no tocante aos elementos menores (CETESB, 1981), isto, em relação com a qualidade das águas como veremos no capítulo seguinte; mas, as concentrações dos elementos maiores não foram determinadas. Não existe, portanto, condição de identificação da influência das fontes potenciais de poluição sobre as águas subterrâneas. Um estudo complementar, abrangendo Municípios vizinhos, deveria permitir avaliar o "background" da composição química do aquífero cristalino em condições naturais, o que permitiria avaliar mais precisamente a contribuição da alteração à mineralização das águas.

4. QUALIDADE DAS ÁGUAS

4.1. Os Padrões

A água subterrânea constitui um recurso explorado pelo homem para diferentes usos: doméstico, agrícola ou industrial. A maioria das análises de água tem como objetivo determinar sua conveniência, isto é sua qualidade, para um determinado caso. Isto é feito com base em certas características mensuráveis, de natureza física, química e biológica, as quais devem ser mantidas dentro de intervalos permissíveis.

Vamos considerar os critérios de qualidade da água em relação ao consumo humano, uso de maior importância para a coletividade humana. Uma água potável é aquela que pode ser consumida pelo homem sem efeito prejudicial para a sua saúde. Os critérios de potabilidade são baseados na ausência de elementos patogênicos tais como bactérias, vírus e elementos químicos acima de uma certa concentração, e em características físicas tais como ausência de odor, cor e sabor.

Em todo país, vários órgãos ligados aos problemas da Saúde Pública e do Meio Ambiente, se encarregam de estabelecer normas de potabilidade; as normas estabelecidas por autoridade governamental e exigidas por lei, são chamadas de padrões. A

maioria dos padrões se refere a elementos químicos. No tocante à qualidade bacteriológica, recomenda-se, em geral, a ausência de bactérias do grupo Coliforme, consideradas como indicadores da possibilidade de ocorrer microorganismos patogênicos.

Na tabela 10, apresentamos os padrões em vigor no Brasil e nos Estados Unidos a título de comparação. No Brasil, os padrões estabelecidos pelo Ministério do Interior e o Ministério da Saúde, podem ser completados pelos Estados, tal como ocorre em São Paulo. Dentre os elementos químicos considerados como tóxicos: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, prata e selênio, a prata e o mercúrio não constam dos padrões definidos pelo Estado de São Paulo. Já os elementos considerados como perigosos, fluor e nitratos constam dos diferentes padrões. Outros parâmetros (alumínio, cloretos, cobre, ferro, manganês, etc...) podem ser considerados por afetarem o sabor da água, ou causarem problemas de corrosão nas tubulações.

A comparação dos elementos apresentados nas tabelas 1 e 10 mostra que as análises ditas "de potabilidade", realizadas pelos diversos laboratórios da cidade, a pedido dos proprietários de poços, não levam em conta os elementos tóxicos. É importante ressaltar que esses elementos são, geralmente, indicadores de poluição engendrada por atividades industriais. Considerando a importância dessas atividades no Município de São Paulo, a falta de determinação desses elementos tóxicos faz com que os resultados dessas análises sejam desprovidos de significado quanto à potabilidade.

Isto faz ressaltar, mais uma vez, a falta de legislação no tocante à exploração das águas subterrâneas. O controle de qualidade deveria ser realizado regularmente por um órgão estadual, e não deixado à iniciativa dos particulares.

4.2. Análise dos Dados do Estudo

No presente estudo, as dosagens realizadas (Tab.

Tab.10-PADRÕES DA QUALIDADE QUÍMICA DA ÁGUA POTÁVEL (mg/l).

PARÂMETROS QUÍMICOS	MINISTÉRIO INTERIOR(1)	MINISTÉRIO SAÚDE (2)	ESTADO DE S.PAULO(3)	E.P.A. (4)
Al		0,1		
Ag		0,05		0,05
As	0,1	0,1	0,05	0,05
Ba	1	1	1	1
Cd	0,01	0,01	0,01	0,01
Cl		600	250	
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu	1	1	1	
F	1,4	0,6-1,7	1	1,4-2,4
Fe		1	0,3	
Hg	0,002	0,002		0,002
Mn		0,5	0,05	
Pb	0,1	0,1	0,05	0,05
Se	0,01	0,01	0,01	0,01
Zn	5	5	5	
CN	0,2		0,2	
N-NH ₃	0,5		0,08	
N-NO ₂	1		0,02	
N-NO ₃	10	10	2-6	10
CaCO ₃ -OH			0	
CaCO ₃ -CO ₃			120	
CaCO ₃ -HCO ₃			250	
Fenois	0,001	0,001	0	
Pesticidas	normas segundo os compostos		0	normas segundo os compostos
Detergentes (ABS)	0,5	0,5	0	

(1) Portaria 013 de 15/01/76 do Ministério do Interior (Secretaria Especial do Meio Ambiente).

(2) Decreto Federal nº 79.367 de 09/03/77 e Portaria nº 56 de 14/03/77 do Ministério da Saúde; indicou-se apenas os limites permissíveis.

(3) Decreto Estadual nº 12.486 de 20/10/78, NTA-60; os padrões aí indicados, aplicam-se às águas de poços.

(4) Environmental Protection Agency, USA, Safe Drinking Water Act 1974.

2 e 3) com relação aos padrões da legislação estadual (Tab.10) permitem uma melhor avaliação da qualidade das águas subterrâneas da área. Os teores de alumínio, prata, cloro, cobre, zinco, nitrogênio amoniacal e nitrato, e alcalinidade de todas as amostras analisadas atendem os padrões de potabilidade. Em relação aos teores de bário, cromo, ferro, manganês e chumbo, temos casos onde as concentrações ultrapassam os padrões definidos.

Na zona I de amostragem, 40% das amostras apresentam teor de ferro que ultrapassa o padrão de 0,3 mg/l. Uma amostra apresenta também um teor elevado de manganês, outra, teores elevados de manganês e cromo. 78% desses casos correspondem a águas extraídas do aquífero sedimentar. Observamos, no item 3.1., que a poluição das amostras pelo ferro é devida a sólidos em suspensão. Portanto, uma simples filtragem da água pode sanar essa poluição que podemos qualificar de geológica, em relação com a natureza dos sedimentos.

Na zona II de amostragem, 86% das amostras apresentam casos de poluição por: Fe, ou Fe-Mn, ou Fe-Ba, ou Fe-Mn-Ba, ou Fe-Mn-Pb, ou Mn-Pb, ou Mn-Cr, ou Fe-Mn-Pb-Cr-Ba, ou Pb.

Enquanto podemos correlacionar o ferro e o manganês com fatores geológicos, tais como a ocorrência de óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, bário, chumbo e cromo representam elementos exteriores ao meio ambiente, ligados a problemas de poluição.

Na maioria dos casos, concentrações elevadas de bário, chumbo e cromo são associadas com concentrações elevadas de ferro e/ou manganês. Ora, os óxidos e hidróxidos de ferro e manganês constituem fases mineralógicas que fixam facilmente os elementos traços. Isso nos leva a pensar que bário, chumbo e cromo também estejam como sólidos em suspensão, localizados nos óxidos e hidróxidos de ferro e manganês. De qualquer forma, esses elementos tóxicos, presentes na fase em suspensão ou dissolvida, correspondem a casos de poluição.

Esses casos de poluição podem ser engendrados pelas numerosas indústrias presentes na zona de amostragem ou pelos rios Tietê e Pinheiros. Com efeito, os rios Tietê e Pinheiros constituem, na altura do Município, verdadeiros "esgotos a céu aberto", pois as indústrias da região lançam os seus rejeitos neles, muitas vezes, sem tratamento. A poluição desses rios caracteriza-se por elevados teores de ferro, manganês, chumbo, fenóis, detergentes e nitrogênio amoniacal, e um número mais provável de Coliformes por 100 ml da ordem de vários milhões (CETESB 1981). Em ítem anterior (ítem 2.1 do capítulo III) notamos a possibilidade de existir fluxos de água dos rios para poços vizinhos. Aliás, fomos informados (verbalmente por proprietários de poços) que vários poços, localizados na vizinhança dos rios, apresentaram contaminação bacteriológica.

Regra geral, as determinações realizadas sobre as amostras de água subterrânea mostram que os aquíferos apresentam uma boa qualidade química com exceção de alguns casos pontuais. Em particular, as águas do aquífero sedimentar, com seu teor natural de sólidos dissolvidos muito baixo, se prestam muito bem ao consumo humano, desde que não contenham bactérias, víruses patogênicos ou compostos orgânicos tóxicos, elementos não analisados no presente estudo. Os casos de concentração excessiva de ferro podem facilmente ser solucionados por filtração, além disso o ferro não é um elemento tóxico.

4.3. Vulnerabilidade dos Aquíferos

A vulnerabilidade à poluição de um aquífero, determina a medida na qual o aquífero é mais ou menos exposto à poluição a partir da superfície (ALBINET & MARGAT, 1970). Esta é uma noção complexa pois integra diversos fatores:

- fatores hidrogeológicos: aquífero livre ou confinado, profundidade do nível de água, natureza litológica, ligações com as águas superficiais (rios, lagos...).

- fatores humanos: ocupação do solo, tipo de urbanização, existência de indústrias, tipo de agricultura. Esses fatores aumentam o risco de poluição e portanto a vulnerabilidade efetiva.

A análise dos fatores naturais de vulnerabilidade e dos fatores humanos no setor estudado do Município de São Paulo (PARISOT & REBOUÇAS, 1982) permite definir esquematicamente zonas de diferentes graus de vulnerabilidade efetiva (Fig . 18):

- Zona I: vulnerabilidade baixa

Corresponde ao aquífero sedimentar a Leste da região estudada. Aí o nível de água situa-se entre cinquenta metros e uma dezena de metros da superfície. A ocorrência de camadas argilosas, bem como o asfaltamento, reduz as possibilidades de infiltração de um eventual poluente a partir da superfície. Além disso, a heterogeneidade do aquífero (camadas arenosas lenticulares de extensão variável) reduz a extensão das propagações em profundidade. Essa zona é essencialmente residencial; isso limita as fontes de poluição a eventuais vazamentos da rede de esgotos. Análises de potabilidade nessa zona devem, sobretudo determinar a concentração de nitrogênio amoniacal e a presença de bactérias Coliformes.

Destacamos também como zona de vulnerabilidade baixa uma zona à Oeste do rio Pinheiros. Os poços exploram o aquífero cristalino, muitas vezes encoberto por 30 a 50 m de sedimentos argilosos terciários. Nessa zona a urbanização é menos densa.

- Zona II: vulnerabilidade média

Corresponde a uma zona residencial ao longo do rio Pinheiros. Os poços exploram o aquífero cristalino encoberto nesse setor por 20 a 40 m de aluviões argilosos. A ocorrência

Fig. 18 - ESQUEMA DE VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

cia, no setor, do rio Pinheiros, altamente poluído, representa uma fonte potencial de poluição importante, sobretudo, no caso de existir relações hidráulicas rio-aquífero. Controles de potabilidade nessa zona não devem desprezar os elementos metálicos tóxicos que pode trazer o rio, além das bactérias Coliformes.

- Zona III: vulnerabilidade alta

Essa zona, ao longo do rio Tietê e Pinheiros, em bora apresente as mesmas características hidrogeológicas da zona II, corresponde a um setor de intensa industrialização. Essas indústrias constituem fontes potenciais de poluição importantes para o aquífero. Nos terrenos das indústrias, o asfaltamento não é generalizado como nas áreas residenciais, e há maiores possibilidades de infiltração. Os poços perfurados de 0 a 200 metros dos rios apresentam um nível estático de água raso (de 5 a 10 m da superfície) com uma cobertura de aluviões de so mente alguns metros, tornando-os ainda mais vulneráveis à polui ção.

Quanto mais vulneráveis à poluição são considera das as águas subterrâneas, mais completo e freqüente deve ser o controle da sua qualidade, em particular em relação à sua potabilidade. Infelizmente, atualmente, não existe controle da qua lidade das águas subterrâneas na região.

C A P Í T U L O V

CONCLUSÕES

Consideramos atingido o objetivo geral do estudo que era de proceder a uma avaliação das condições de exploração das águas subterrâneas e da sua qualidade a partir de dados coletados em um setor do Município de São Paulo. Mas, fomos levados a desenvolver aspectos para os quais estudos complementares deverão ser realizados. Por exemplo, seria interessante distinguir a contribuição química do próprio aquífero, em relação com a geologia, das outras contribuições, tal como as relações com as águas superficiais. Análises complementares poderão também distinguir mais nitidamente os elementos realmente dissolvidos dos elementos em suspensão, o que não foi possível devido à metodologia adotada.

Os aquíferos explorados por poços tubulares profundos no Município de São Paulo são de dois tipos: o sedimentar no centro do Município e o cristalino na periferia. Os poços perfurados apresentam características quantitativas e qualitativas bem distintas segundo o aquífero explorado:

- Poço perfurado na rocha cristalina: vazão pequena, em geral inferior a $5 \text{ m}^3/\text{h}$, rebaixamento importante, até uma centena de metros do nível de água, água bicarbonatada (medianamente dura) apresentando de 80 a 500 mg/l de elementos dissolvidos.

- Poço perfurado nos sedimentos: vazão de 5 a $20 \text{ m}^3/\text{h}$, rebaixamento de 20 a 30 m, água muito pouco mineralizada, 3 a 45 mg/l.

Apesar de alguns poços apresentarem características construtivas possibilitando a exploração simultânea dos dois aquíferos, consideramos que esses poços exploram sobretudo o aquífero cristalino, em função da vazão, do rebaixamento de nível e da mineralização da água. Assim, torna-se possível classificar os poços perfurados no Município como "poços explorando o aquífero cristalino" e "poços explorando o aquífero sedimentar".

Os conhecimentos adquiridos podem ajudar os particulares ou indústrias que pensam em utilizar as águas subterrâneas. Segundo a geologia do seu terreno, eles podem avaliar a quantidade de água que poderão proporcionar um poço e ter uma idéia da composição química da água, julgando assim da conveniência do investimento previsto.

Não notamos, no setor estudado, problemas de super-exploração: os poços perfurados atualmente apresentam características de vazões e rebaixamentos semelhantes às daquelas dos poços perfurados dezenas de anos atrás.

Apesar de os aquíferos ocorrerem numa região de forte industrialização e urbanização, a água subterrânea não sofre dos problemas de poluição que atingem a cidade em diversos domínios. Em relação aos elementos químicos analisados, a água atende, em geral, os padrões de potabilidade.

A análise das condições de exploração das águas subterrâneas na região fez ressaltar a ausência de uma legislação nesse domínio, relativamente aos aspectos quantitativos como qualitativos. Esse recurso, está sendo aproveitado pelos particulares sem nenhuma limitação. Urge definir um quadro legislativo que permita o controle da exploração da água subterrânea, a fim de que a sua boa qualidade atual seja preservada. Do contrário, os casos pontuais de poluição poderão se generalizar e comprometer definitivamente a qualidade dos aquíferos. Em relação com as potencialidades dos aquíferos, não podemos considerar que seja possível contar com esse recurso para abastecer a população do Município. Mas, esse volume de água, armazenado no subsolo, representa um recurso estratégico da maior importância para a coletividade, para complementar o abastecimento público, atender casos de emergência, tal como a poluição acidental dos reservatórios superficiais e combate a incêndio. Portanto a boa qualidade natural das águas subterrâneas deve ser preservada.

B I B L I O G R A F I A

- ALBINET, M. & MARGAT, J. - 1970 - Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines - Bull. BRGM, sect. III, n° 4, p. 13-22, Paris.
- ALBINET, M. - 1971 - Détermination des périmètres de protection des captages d'eau destinés à l'alimentation publique-Bull. BRGM,sect III, n° 4, p. 33-37, Paris.
- ALLEN, M.J. & GELDREICH, E.E. - 1975 - Bacteriological criteria for ground water quality - Ground Water, vol. 13 n° 1, p. 45-52, Ohio, USA.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1955 - As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira - Bol.Soc.Bras.Geol. vol.4 n° 2, p.23-44, São Paulo.
- BARNER, U. et alii - 1980 - Estudos integrados de recursos hídricos regionais no Estado de São Paulo - Anais do 1º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,ABAS, p. 351-358 , Recife.
- BATTALHA, B.L. & PARLATORE, A.C. - 1977 - Controle da qualidade da água para consumo humano - CETESB, 198 p., São Paulo.
- BEAR, J. - 1972 - Dynamics of Fluids in Porous Media - American Elsevier, 764 p., New York.
- BEAN, E.L. - 1974 - Potable water, quality goals - Am. Water Works Ass. Journal, vol. 66 n° 4, p. 221-230, New York.
- BLAIR, A.H. - 1972 - Hydrogeological factors in groundwater pollution - Proceedings of a conference "Groundwater pollution in Europe", Reading, England, Water Inf.Cent.,Inc., 1974, p. 30-64, New York.
- BRASIL, COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO

E DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE (CETESB) - 1974 - Curso por correspondência CC.001/75, São Paulo.

BRASIL, COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE (CETESB) - 1977 - Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, estudo preliminar, CETESB, 88 p., São Paulo.

BRASIL, COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE (CETESB) - 1981 - Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, CETESB, 92 p., São Paulo.

BRASIL, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1975 - Estudo de águas subterrâneas, Região Administrativa 1, Grande São Paulo - vol. 1 texto 220 p., vol. 2 anexo 179 p., vol.3, mapas 18, São Paulo.

BRASIL, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1970 - Boletim pluviométrico nº 2 - 1083 p., São Paulo.

BRASIL, EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. (EMPLASA) - 1980 - Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo - São Paulo.

BRASIL, INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DE SÃO PAULO (IGGSP) - 1971 - Mapas das cidades do Brasil, 1:12.500, São Paulo, folha 4 - São Paulo.

BREMOND, R. & VUICHARD, R. - 1973 - Paramètres de la qualité des eaux - La Documentation française, 179 p., Paris.

CASTANY, G. - 1967 - Traité pratique des eaux souterraines - Dunod, 661 p., Paris.

CASTANY, G. - 1968 - Prospection et exploitation des eaux souterraines - Dunod, 717 p., Paris.

- CHIOSSI, N.J. - 1980 - Condições hidrogeológicas da bacia sedimentar de São Paulo - Mesa redonda "Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo", Publ. Esp. ABGE-SBG/NSP, p. 95-115, São Paulo.
- CRAMER, W. - 1978 - L'importance de l'eau souterraine comme source d'approvisionnement en eau potable - La technique de l'eau, p. 21-36, Bruxelles.
- COUTINHO, J.M.V. - 1972 - Petrologia do Pré-Cambriano de São Paulo e arredores - Bol.IG., nº 3, p.5-99, São Paulo.
- COUTINHO, J.M.V. - 1980 - Relações litológicas e estruturais da bacia de São Paulo com o Pré-Cambriano circunvizinho - Mesa redonda "Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo", Publ. Esp. ABGE-SBG/NSP, p. 15-23, São Paulo.
- COZZOLINO, V.M.N. - 1972 - Tipos de sedimentos que constituem a bacia de São Paulo - Tese, Esc. Politécnica da USP, 116 p., São Paulo.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. - 1976 - Hidrologia subterrânea - Omega, tomo I, 1157 p., tomo 2, 2359 p., Barcelona.
- DAVIS, S.N. & DE Wiest, R.J.M. - 1966 - Hydrogeology - John Wiley & Sons, 463 p., New York.
- DELLA TOGNA, R.J.B. - 1980 - Uma política para o controle da qualidade das águas subterrâneas - Águas Subterrâneas, ABAS, vol. 2 nº 1, p. 45-55, São Paulo.
- DUTRA, C.V. - 1980 - Espectrografia ótica de emissão - Soc. Bras. de Geologia, Núcleo RS/SC, Boletim nº 4, p. 47-67, São Paulo.

- EDMUNDS, W.M. - 1976 - Groundwater geochemistry, controls and processes - Proceedings of a conference "Groundwater quality, measurement, prediction and protection", Reading, Brier Press Ltd., 1977, p. 115-147, England.
- EISEN, C. & ANDERSON, M. - 1979 - The effect of urbanization on ground water quality, a case study - Ground Water, vol. 17, nº 5, p. 456-462, Ohio, USA.
- EMSELLEN, Y. - 1979 - Conservation et gestion des ressources et réglementation des exploitations - Bull. BRGM sect. III, nº 4, p. 463-474, Paris.
- E.U.A., U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) - 1976 - Quality Criteria for Water - EPA, 255 p., Washington.
- FETH, J.H. et alii - 1964 - Sources of mineral constituents in water from granitic rocks, Sierra Nevada, California and Nevada-Geol. Survey Water Supply Paper, nº 1535.I, 170 p., Washington.
- FRIED, J.J. - 1975 - Groundwater Pollution - Elsevier Scient.Public. Comp., 330 p., Amsterdam.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. - 1979 - Groundwater -Prentice-Hall Inc., 604 p., New Jersey.
- GARRELS, R.M. & CHRIST, C.L. - 1965 - Solutions, Minerals and Equilibria, Harper & Row, 450 p., New York.
- GIANCURSI, F.D. & LOPES, M.F.C. - 1980 - Aspectos hidrogeológicos da bacia sedimentar de São Paulo - Mesa redonda "Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo"- Publ.Esp.ABGE-SBG/NSP, p. 117-128, São Paulo.
- GOLDICH, S.S. - 1938 - A study in rock-weathering - J. Geology nº 46, p. 17-23, Illinois, USA.

- HALL, E.S. - 1972 - Some chemical principles of groundwater pollution - Proceedings of a conference "Groundwater pollution in Europe", Reading, England, Water Inf.Cent., Inc., 1974, p. 96-111, New York.
- HARDCASTLE, B.J. & BLAIR, A.H. - 1979 - La structure législative applicable à la gestion des aquifères - Bull. BRGM sect. III, n° 3, p.223-232, Paris.
- HASSAN, A.A. - 1974 - Water quality cycle, reflexion of activities of nature and man - Ground Water, vol. 12 n° 1, p.16-21, Ohio, USA.
- HASUI, Y. et alii - 1976 - Condicionamento tectônico da bacia sedimentar de São Paulo - Anais do XXIX Congr.Bras. de Geologia, SBG, p. 257-268, Ouro Preto.
- HASUI, Y. & CARNEIRO, C.D.R. - 1980 - Origem e evolução da bacia sedimentar de São Paulo - Mesa redonda "Aspectos Geológicos e Geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo, Publ. Esp. ABGE-SBG/NSP, p.5-13, São Paulo.
- HEM, J.D. - 1959 - Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water - Geol. Survey Water Supply Paper, n° 1473, 269 p., Washington.
- HUISMAN, I.L. - 1976 - Utilization of groundwater - Proceedings of a conference "Groundwater quality measurement prediction, and protection", Reading, Brier Press Ltd, 1977, p. 33-59, England.
- HUTCHINSON, M. - 1972 - Microbiological aspects of groundwater pollution - Proceedings of a conference "Groundwater pollution in Europe", Reading. Water Inf. Cent., Inc., 1974, p. 167-202, New York.
- KAUFMAN, W.J. - 1974 - Chemical pollution of ground waters -Am.

Water Works Ass.Journ., vol.66 nº 3, p.152-159, New York.

KOCHEN, J.V. & BERENHAUSER, C.J.B. - 1981 - Estado atual do programa de controle de perdas de água na RMSP - Revista DAEE, nº 126, p. 35-39, São Paulo.

LEINZ, V. - 1953 - Água subterrânea com referência a São Paulo - Ciência e Cultura, vol.5 nº 3, p. 119-120, São Paulo.

LEINZ, V. - 1955a - Água subterrânea na bacia de São Paulo - Bol. Soc.Bras.Geol., vol.4 nº 2, p.5-21, São Paulo.

LEINZ, V. - 1955b - Decomposição das rochas cristalinas na bacia de São Paulo - An.Acad.Bras.de Ciências, vol. 27 nº 4, p. 499-504, Rio de Janeiro.

LEINZ, V. & CARVALHO, A.M.V. - 1957 - Contribuição à geologia da bacia de São Paulo - Bol. Fac.Filo.Cien. e Letr., nº 205, 61 p., São Paulo.

LOGAN, J. - 1965 - Interpretação de análises químicas da água US Agency for Int. Devel., 67 p., Recife.

MARGAT, J. & MONITION, L. - 1970 - Qualit des eaux, pollutions, generalits - Bull. BRGM sect. III, nº 4, p. 5-12, Paris.

MARQUES SILVA, L. & BASANO FILHO, H. - 1972 - Levantamento hidrogeolgico da Poro Central da bacia de So Paulo - guas Subterrneas, vol.1 nº 2, p. 21-27, So Paulo.

MASSAD, F. - 1980 - Caractersticas e propriedades geotcnicas de alguns solos da bacia de So Paulo - Mesa redonda "Aspectos geolgicos e geotcnicos da bacia sedimentar de So Paulo", Pub. Esp. ABGE-SBG/NSP, p. 53-94, So Paulo.

MELFI, A.J. & PEDRO, G. - 1977 - Estudo geoqumico dos solos e formaes superficiais do Brasil - Rev.Bras.Geocincias, vol.

7, nº 4, p. 271-286, São Paulo.

MEZZALIRA, S. & TORRES, C.C. - 1977 - Comportamento hidrogeológico das formações geológicas do Estado de São Paulo - Gov. do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, Inst. Geol., Bol.nº 2, p. 5-44, São Paulo.

PARISOT, H.E. & REBOUÇAS, A.C. - 1982 - Qualidade das águas subterrâneas da região Centro-Oeste do Município de São Paulo - Anais, 2º Congr. Bras. de Águas Subterrâneas, ABAS, p. 379-388, Salvador.

PEDRO, G. - 1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération chimique des roches cristallines - Thèse, Fac. Sci. Paris, 344 p.

POMPEU, C.T. - 1976 - Regime jurídico da polícia das águas públicas, polícia da qualidade - CETESB, 149 p., São Paulo.

POMPEU, C.T. - 1978 - Legislação brasileira sobre recursos hídricos - CNPq projeto 03 "Recursos hídricos", p. 95-104, São Paulo.

RAINWATER, F.H. & THATCHER, L.L. - 1960 - Methods for collection and analysis of water samples - Geol. Survey Water Supply Paper, nº 1454, 297 p., Washington.

REBOUÇAS, A.C. - 1978 - Águas subterrâneas no Brasil - CNPq projeto 03 "Recursos hídricos", p. 47-53, São Paulo.

REBOUÇAS, A.C. - 1980 - Aspectos hidrológicos no planejamento da ocupação urbana da Grande São Paulo - Mesa Redonda "Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo", Pub. Esp. ABGE-SBG/NSP, p. 129-135, São Paulo.

REBOUÇAS, A.C. - 1981 - Águas subterrâneas, fator para o desenvolvimento - Rev. Águas Subterrâneas, ABAS, p. 31-43, São Paulo.

- RODIER, J. - 1965 - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau - Dunod, 412 p., Paris.
- ROSS, J.L.S. - 1981 - A qualidade de água subterrânea no espaço urbano da Grande São Paulo - Dissertação de Mestrado, Dep. Geografia da Fac. de Filo.Letr. e Ciên.Hum. da USP, 120 p., São Paulo.
- SCALF, M.R. et alii - 1981 - Manual of ground water quality sampling procedures - NWWA/EPA Series, Nat.Wat. Well Ass. , 93 p., Ohio, USA.
- SCHOELLER, H. - 1962 - Les eaux souterraines - Masson et Cie, 642 p., Paris.
- SUGUIO, K. & BARBOUR, A.P. - 1969 - Morfologia e gênese das estruturas limoníticas dos sedimentos da bacia de São Paulo. An.Acad.Bras.Ciências, vol. 41 nº 2, p.161-180, Rio de Janeiro.
- SUGUIO, K. & TAKAMASHI, L.I. - 1970 - Estudo dos aluviões antigos dos rios Pinheiros e Tietê, São Paulo, SP.- An. Acad. Bras. Ciências, vol. 42 nº 3, p. 555-570, Rio de Janeiro.
- SUGUIO, K. et alii - 1971 - Novos dados sedimentológicos dos aluviões antigos do rio Pinheiros (São Paulo) e seus significados na interpretação do ambiente deposicional - Anais do XXV Congr.Bras. de Geologia, SBG, p. 219-225, São Paulo.
- SUGUIO, K. - 1980 - Síntese dos conhecimentos sobre a sedimentação da bacia de São Paulo - Mesa Redonda "Aspectos Geológicos e Geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo", Pub. Esp. ABGE-SBG/NSP, p. 25-32, São Paulo.
- TALTASSE, P. & DAVINO, A. - 1968 - Exemplos de aplicação de métodos geofísicos em estudos geohidrológicos - Anais do XXII Congr.Bras.de Geologia, SBG, p. 267-269, Belo Horizonte.

- TARDY, Y. - 1969 - Géochimie des altérations, étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique - Mem. Serv. Carte Geol. Als. Lorr., n° 31, 199 p., Strasbourg.
- TODD, D.K. - 1959 - Ground Water Hydrology - John Wiley & Sons, Inc., 336 p., New York.
- UNESCO - 1977 - Effects of urbanization and industrialization on the hydrological regime and on water quality - Studies and reports in hydrology n° 24, 572 p., IAHS/UNESCO, England.
- UNESCO - 1978 - Water Quality Surveys - Studies and reports in hydrology n° 23, UNESCO, 350 p., Paris.
- UNESCO - 1979 - Impact of Urbanization and Industrialization on Water Resources Planning and Management - Studies and reports in hydrology n° 26, UNESCO, 111 p., Paris.
- UNESCO - 1980 - Aquifer Contamination and Protection - Studies and reports in hydrology n° 30, UNESCO, 440 p., Paris.
- VALIQUETTE, L. et alii - 1981 - Proposition d'une grille de critères de qualité de l'eau en fonction de ses usages - Trib. Cebedeau, n° 447, p. 59-69, Liège.
- WALTON, W.C. - 1970 - Ground Water Resource Evaluation - Mac Graw Hill Book Comp., 664 p., New York.
- YASSUDA, E.R. - 1977 - Plano diretor de suprimento de água potável da Região Metropolitana de São Paulo - Rev. DAEE, n° 111, p. 45-82, São Paulo.
- ZAPOROZEC, A. - 1979 - Principles of ground water protection in ground water management - III World Congr. on water resources, p. 3562-3568, México.

A N E X O

P O Ç O S C A D A S T R A D O S

- ZONA I : PERFIL PAULISTA - MORUMBI
- ZONA II : PERFIL LAPA - JAGUARE

- POÇOS CADASTRADOS NA ZONA I -

Nº	ENDEREÇO		COORDENADAS			PERFURAÇÃO		PROF.	EMB.	N.E.	N.D.	Q	OBSERVAÇÕES
			X	Y	Z(m)	ANO	CIA	(m)	(m)	(m)	(m)	(m³/h)	
			(1)			(2)		(3)	(4)	(5)	(5)	(5)	(6)
1	Av. Paulista	2416	30,4	93,95	812	1969	A.L.	152	148	56	67,8	12,6	Amostra
2	Av. Paulista	2073	30,6	93,75	812	1956		146		40	60	8,5	Desativado
3	Av. Paulista	2006	30,65	93,7	812	1971	C.	157	154	58	90	8	
4	Av. Paulista	2001	30,65	93,65	812	1972	A.L.	159		65	83	9,3	Desativado
5	Av. Paulista	1745	30,8	93,5	812	1962	C.	159		40	68	18	Amostra
6	Av. Paulista	1471	31,05	93,3	812	1972	T.J.	203	200	35	98	5	Desativado
7	Av. Paulista	1439	31,1	93,25	812	1973	A.L.	204		67	87		
8	Al. Santos	2527	30,25	93,85	812	1967	T.J.	152	145	54	80	10	Desativado
9	Al. Santos	2384	30,35	93,8	812	1971	A.L.	163	158	40	69	7,2	Amostra
10	Al. Santos	2359	30,35	93,75	812	1966	A.L.	165	140	50	53	16,7	Amostra
11	Al. Jaú	1313	30,55	93,4	800	1972	T.J.	207	204	54	70	10,3	Amostra
12	Al. Itú	738	30,68	93,18	795	1969	A.L.	175		56	98	7	Desativado
13	Al. Itú	725	30,6	93,2	795	1973	T.J.	203		60	105	12	Desativado
14	Al. Franca	933	30,4	93,2	780	1971	A.L.	165		38	48	14,4	Amostra
15	Al. M.R. de Azevedo	1409	30,48	93,1	765	1971	C.	119	117	3	35	36	
16	R. Peixoto Gomide	912	30,8	93,4	812	1963	C.	160		40	65	16	Amostra
17	R. Peixoto Gomide	1802	30,25	92,75	755	1971	C.	110	109	9	40	32,7	Amostra
18	Al. Casa Branca	735	30,5	92,8	762	1972	C.	132,5	123	17	38	36	Amostra
19	Al. Casa Branca	1080	30,3	92,5	750	1975	A.L.	112	100	14	45	18,8	Amostra
20	Al. Lorena	1749	29,8	93,25	765	1971	T.J.	150		12	74	21	Desativado
21	Al. Lorena	983	30,4	92,7	755	1969	A.L.	119	115	13	22	22	Amostra
22	Av. Consolação	3574	29,55	93,25	764	1969	A.L.	159	150	14	19,5	17	Amostra
23	R. Oscar Freire	836	29,7	93,15	760	1966	C.	138	138	10	28	30	Amostra
24	R. Oscar Freire	83	30,24	92,62	750	1970	C.	112	97	10	40	36	Amostra
25	R. Oscar Freire	74	30,3	92,6	750	1972	C.	111	97	12	23	36	Desativado
26	R. Pr. Prudente	62	30,3	92,4	749	1971	A.L.	106	89	7,5	39	11,3	Amostra
27	R. Bar. de Capanema	74	30,2	92,55	748	1975	C.	101	100	11	32	24	Amostra
28	R. Cristovão Diniz	21	29,9	92,75	748	1970	A.L.	142	139	8	16,5	17	Amostra
29	R. Cristovão Diniz	82	29,85	92,65	748	1970	A.L.	141	132	9	23	26	Amostra
30	Al. R. de Azevedo	1388	29,9	92,6	748	1970	C.	119	118	5	30	28	Amostra
31	R. Honduras (Clube Paulistano)	1400	29,8	92,6	748	1973	C.	113	112	11	42	36	Amostra
32	R. Canadá (Soc. Harm. de Tênis)	658	29,6	92	742	1979	A.L.	97	90	12	52	17,6	Amostra
33	R. Argentina	820	29,4	92	742			69		7,5	14	18	
34	R. Argentina	706	29,4	92,05	742								Amostra
35	R. Itália	414	28,4	91,65	728	1957		162		17	71	4	
36	R. Maria Carolina	354	27,85	92,25	733	1956		72,5		40		7,5	Amostra
37	R. Escôcia	217	28,25	91,4	727	1972	A.L.	120	90	45	58	7,5	
38	R. Escôcia	253	28,2	91,4	727	1972	A.L.	250	77	41	108	5	Amostra
39	R. Tucumã	142	27,8	91,2	727	1972	C.	200	68	15	45	24	Amostra
40	R. Tucumã	217	27,85	91,2	727	1973	A.L.	150	48	29	45	10,5	
41	Av. B. Faria Lima	1276	27,8	91,75	725	1979	A.L.	80	17	5	60	2,5	Desativado
42	Shopping Iguatemi (Ed. Montfort)		27,62	91,6	725	1971	A.L.	113	46	34	86	2	
43	Shopping Iguatemi (Ed. Dion)		27,63	91,58	725	1971	A.L.	148	25	28	61	4,5	

cont.

- POÇOS CADASTRADOS NA ZONA I -
(cont.)

Nº	ENDEREÇO	COORDENADAS			PERFURAÇÃO ANO , CIA	PROF. (m)	EMB. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q (m³/h)	OBSERVAÇÕES
		X	Y	Z							
		(1)			(2)	(3)	(4)	(5)	(5)	(5)	(6)
44	Shopping Iguatemi (Ed. Chatelet)	27,65	91,55	725	1971	A.L.	182	29	5	92 3	
45	Shop. Iguatemi (Ed. Avignon)	27,69	91,5	725	1972	A.L.	133	67	33	98 3	
46	R.C.da Costa Vidigal 27	27,58	91,5	725	1972	A.L.	150	22	40	77 8	Amostra
47	R.C.da Costa Vidigal 68	27,6	91,49	725	1973	A.L.	200	45	59	140 0,5	Amostra
48	R.C.da Costa Vidigal 70	27,62	91,48	725	1973	A.L.	200	30	61	87,5 5,3	Desativado
49	R. A.Maffei Vita 370	27,6	91,4	724	1971	A.L.	110	17	33	70 2,5	Desativado
50	R. Fred Chopin 50	27,75	90,9	722	1976	C.	180	6	11	110 2,5	Amostra
51	R. Hungria 1000 (Ass.Bras. e Hebraica de São Paulo)	27,25	91,4	722	1957		119	4	3,5	69 4,5	Desativado
52	Av.L.Paula Machado 599 (Jockey Club de SP)	26,8	91,2	722	1980		160				Amostra
53	Av.L.Paula Machado 599 (Jockey Club de SP)	27	91	722	1972	T.J.	160	60	28	90 11	Amostra
54	Av.L.Paula Machado 599	26,6	91,25	722	1961	A.L.	65		4	15 22	Amostra
55	Av.Morumbi 161	25,9	91,7	760	1973		160	51	32	91 2	Desativado
56	R. Miragaia 432	25,75	91,7	745	1955		118		25	90 0,8	Desativado
57	R. E 7 (Radio Tele. Bandeirantes)	25,45	84,6	795	1961		119	52	37	70 0,8	Desativado
58	R. Seixas (Hosp.Inf. Morumbi)	25,4	89,8	795	1959	T.J.	200	40	56	100 6	Amostra
59	Av.A.Einstein 627 (Hosp.A.Einstein)	25	89,1	791	1963		200		26	80 1	Desativado

- POÇOS CADASTRADOS NA ZONA II -

Nº	ENDEREÇO	COORDENADAS			PERFURAÇÃO		PROF. (m)	EMB. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q (m³/h)	OBSERVAÇÕES (6)
		X	Y	Z(m)	ANO	, CIA						
		(1)			(2)		(3)	(4)	(5)	(5)	(5)	
101	R. Stº Eurílio 195 (Colgate Palmolive)	22,2	93,9	728	1973	C.	45,5	44	12	29	7,2	
102	Av.M.F.de Vasconce 833 los(Lab.Cin.Flick)	22	94,35	735	1976	C.	73	68	13	39	17,6	Amostra
103	Av.M.F.de Vasconce 852 los(Moinho Água Branca)	22,05	94,5	730	1979	C.	71	67	14,6	40	28,8	
104	Av.Jaguare 1487 (Coop.Agrícola Cotia)	22,4	94,45	725	1976	C.	200	20	3	85	8	Amostra
105	Av.Eng.Billings (Cia.Merc.Ind.Engel- brecht)	22,65	95,1	722	1970	T.J.	250	6	2	70	2	
106	Av.Alex.Mackenzie (Inst.Elêtric. e Te- lef.)			725	1977	C.	71,5	68	42	52,8	24	
107	Av.Alex.Mackenzie (Soc.Algod. do NE Bras.)			725	1972	C.	63	60	28	52,5	13	
108	Av.Alex.Mackenzie (Soc.Algod. do NE Bras.)			725	1974	C.	66	66	38	52	33	
109	Av.Alex.Mackenzie (Soc.Algod. do NE Bras.)			725	1975	C.	67	65	41	63,6	20	
110	Av.Alex.Mackenzie (Soc.Algod. do NE Bras.)			725	1977	C.	81,5	66	34	76,7	9,6	
111	Av.Alex.Mackenzie (Soc.Algod. do NE Bras.)			725	1979	C.	66	65	40	61,7	9,6	
112	Av.Pres.Altino 2301 (Anaconda Cereais)	21,05	95,7	730	1973	C.	150	66	62	101	0,6	
113	Av.Eng.Billings 2300 (Concreto Armado)	21,3	96,25	722	1966	C.	60,8	60	30	38	7,5	Amostra
114	Av.Eng.Billings 1729 (Prod.Roche Quím. e Farm.)			722	1975	C.	75	64	32	49	20	
115	Av.Eng.Billings 2227 (R.C.A.Eletrônica)			722	1965	C.	120	65	26	46	24	
116	Av.Eng.Billings 2227 (R.C.A.Eletrônica)	21,4	96,2	722	1980	C.	70	64	42,4	62,9	15,8	Amostra
117	Av.Eng.Billings (Givaudan)			722	1962	C.	150	63	23	42	16	
118	R.H.Mofarrej 1111 (Mappin)	22,05	96,6	720	1979	C.	120	8	3	74	2,8	
119	Av.Mofarrej 971	22,05	96,7	722	1972	C.	260	28	32	142	4	Amostra
120	R.Othão (Coop.Centr.Agr. Sul Bras.)			722	1969	T.J.	187	40	5	90	1,5	
121	Av.G.Vidigal 300 (Bandeirantes de Veículo)	23,3	95,9	725	1977	T.J.	210	54				Amostra
122	Av.Baumann 300 (Frigor.Pacífico)	22,95	96,5	728	1977	A.L.	150	36	20,8	66,6	5,3	Amostra
123	R.D.Silva Airoso 22	22,1	97,85	722	1973	C.	200	24	45	73	24	
124	Av.Imp.Leopoldina 845 (CeSaro Ind.e Com.)	23,1	96,9	725	1967	T.J.	223	34	35	96	0,8	Desativado
125	Av.Mofarrej 154 (Cyanamid Química)	22,7	97,3	722	1968	T.J.	210	50	47	90	0,7	Amostra

cont.

- POÇOS CADASTRADOS NA ZONA II -
(cont.)

Nº	ENDEREÇO	COORDENADAS			PERFURAÇÃO ANO , CIA	PROF. (m)	EMB. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q (m ³ /h)	OBSERVAÇÕES	
		X	Y	Z(m)								
		(1)			(2)	(3)	(4)	(5)	(5)	(5)	(6)	
126	R. Passo da Pátria 1678 (Manuf.Borr. e Plást.)	23,7	97,1	730	1979	A.L.	200	7	9	69	3	Amostra
127	R. L.Fernandes Jr. 10 (Fresimbra Ind.)	23,4	97,8	730	1975	T.J.	271	14	7	157,2	2,4	
128	R. João Tibiriçã 900 (Sharp Eletrônicos)	23,85	98,2	722	1977	A.L.	150	7	3	85	5	Amostra
129	R. João Tibiriçã 1262 (Ind.Quím.Anastácio)			722	1959	T.J.	60	8	4	34	7,2	Desativado
130	R. Fort. Ferras 303 (Frigobrãs)			725	1971	T.J.	200	10	8	58	29,9	
131	R. Fort. Ferras 303 (Frigobrãs)			725	1971	T.J.	180	6	7	51	26,9	
132	R. Fort. Ferras 300 (Tripovac)	24,9	98,1	725	1975	T.J.	151	12	20	50,4	23,4	Amostra
133	Via Anhanguera (Klabin Irmãos)			725	1962	T.J.	100	11	5	17	21,5	
134	R. Gomes Freire 10 (Bressiani Ind.e Com.)	25,55	97,95	730	1960	T.J.	94	17	6	26	10	Amostra
135	R. Fãustolo 1633 (Hosp.dos Sorocabanos)	26,3	97,4	730	1968	T.J.	186	55	5	65	4	Amostra
136	R. Fãustolo 1342 (Ind. e Com.)	26,65	97,5	735	1973	T.J.	220	73	30	110	0,9	Desativado
137	R. Ant.Fidelis 231 (Tinturaria Matheus)	26,1	98,5	722	1975	T.J.	214		5	95	5	Amostra
138	R. Eng. Fox 474 (Tecidos e Bordados Lapa)	26	98,45	722	1972	T.J.	200	15	4	26	10,4	Desativado
139	Av.Santa Marina 443 (Vidraria S.M.)	27,15	98,1	725	1974	T.J.	250	73	112	140	0,2	Desativado

(1) As coordenadas X,Y, e Z (altitude) foram obtidas na folha 4, São Paulo, "Mapas das cidades do Brasil 1:12.500", Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, 1971.

(2) A.L. Companhia de Perfuração AIR-LIFT
C. Companhia de Perfuração CORNER
T.J. Companhia de Perfuração T.JANER

(3) Prof. indica a profundidade total do poço.

(4) Emb. indica a profundidade do embasamento cristalino quando foi atingido pela perfuração("rocha dura" ou "rocha decomposta").

(5) N.E. Nível Estático, N.D. Nível Dinâmico e Q Vazão, são os valores obtidos durante o ensaio de vazão realizado pela companhia no momento da perfuração (em geral, após 12 a 50 horas de bombeamento).

(6) "Amostra" significa que uma amostra da água do poço foi coletada para o presente estudo.
"Desativado" significa que fomos informados que o poço foi desativado.