

HIDROGEOLOGIA DA FOLHA DE SALTO DE PIRAPORA (SP)
 ESCALA 1: 50.000

G. H. Oda*, S. Yoshinaga*, M. A. Iritani*, S. Hassuda*,
 S. A. P. de Castro*, R. Hirata*

* INSTITUTO GEOLÓGICO - Secretaria do Meio Ambiente,
 Av. Miguel Stéfano 3.900, Água Funda CEP 04301 Caixa
 Postal 8772, São Paulo SP Brasil.

RESUMO

A crescente demanda de água e a restrição ao uso dos mananciais superficiais devido à poluição têm forçado o poder público e o usuário particular, sobretudo industrial, a se utilizarem cada vez mais dos recursos hídricos subterrâneos.

Assim sendo, estudos foram desenvolvidos na tentativa de caracterizar a situação das águas subterrâneas da Folha de Salto de Pirapora (1:50.000), com o intuito de fornecer subsídios para o uso e exploração racional dos aquíferos.

Foram cadastrados 183 poços tubulares profundos que cobrem a quase totalidade das obras da folha topográfica. Desses selecionaram-se 40 poços para coleta e análise físico-química e bacteriológica.

Com base nos dados dos poços, foi possível o traçado de um mapa potenciométrico, com indicação dos aquíferos explorados, das características hidráulicas das unidades e a análise das feições geomorfológicas e fotogeológicas que influenciam na produtividade dos poços, permitindo estabelecer critérios para a locação de obras de captação.

As análises físico-químicas possibilitaram estabelecer um zoneamento da composição química, análise do potencial de incrustação-corrosão e aptidão das águas para diversos usos.

Finalmente, as características construtivas dos poços foram estudadas, permitindo montar um quadro das obras e seu estado de conservação e segurança sanitária.

PALAVRAS CHAVES

água subterrânea, folha Salto de Pirapora (1:50.000), uso e consumo de água subterrânea, gestão de aquíferos.

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no Projeto "Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Folha de Salto de Pirapora, SP", e insere-se no Programa "Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região de Sorocaba e Campinas". Este programa foi desenvolvido pelo INSTITUTO GEOLÓGICO (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo), e objetivou o fornecimento de subsídios do meio físico-geológico para o planejamento e uso racional do solo.

A partir da análise dos 183 poços cadastrados em campo, que cobriu quase a totalidade das obras de captação subterrânea, e da coleta e análise de 40 amostras de água, foi possível estabelecer o comportamento hidrodinâmico e hidroquímico dos aquíferos e avaliar a exploração e potencial de uso dos recursos hídricos subterrâneos.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Folha de Salto de Pirapora (SF-23-Y-C-IV-2), em escala 1:50.000 se localiza no Vale Médio do Rio Tietê, na região centro-leste do Estado de São Paulo e abrange parcialmente os municípios de Salto de Pirapora, Araçoiaba da Serra, Sarapuí, Pilar do Sul, Piedade, Sorocaba, Capela do Alto e Votorantim (Figura 1).

A área de estudo está inserida em um contexto geológico complexo, marcado pela presença de rochas do Embasamento Cristalino, compreendendo os Grupos São Roque e Açungui e os sedimentos da Bacia do Paraná, representado pelo Subgrupo Itararé, unidade carbo-permiana do Grupo Tubarão.

O Domínio Cristalino tem ocorrência pouco superior a 120 km² e ocupa a porção leste e sudeste da área de estudo. O mapeamento do INSTITUTO GEOLÓGICO (1990) definiu uma sucessão de litologias conformadas espacialmente por potentes falhas transcorrentes. Destas, as mais significativas são as falhas de Taxaquara e Pirapora, ambas com direção aproximadamente nordeste-sudoeste.

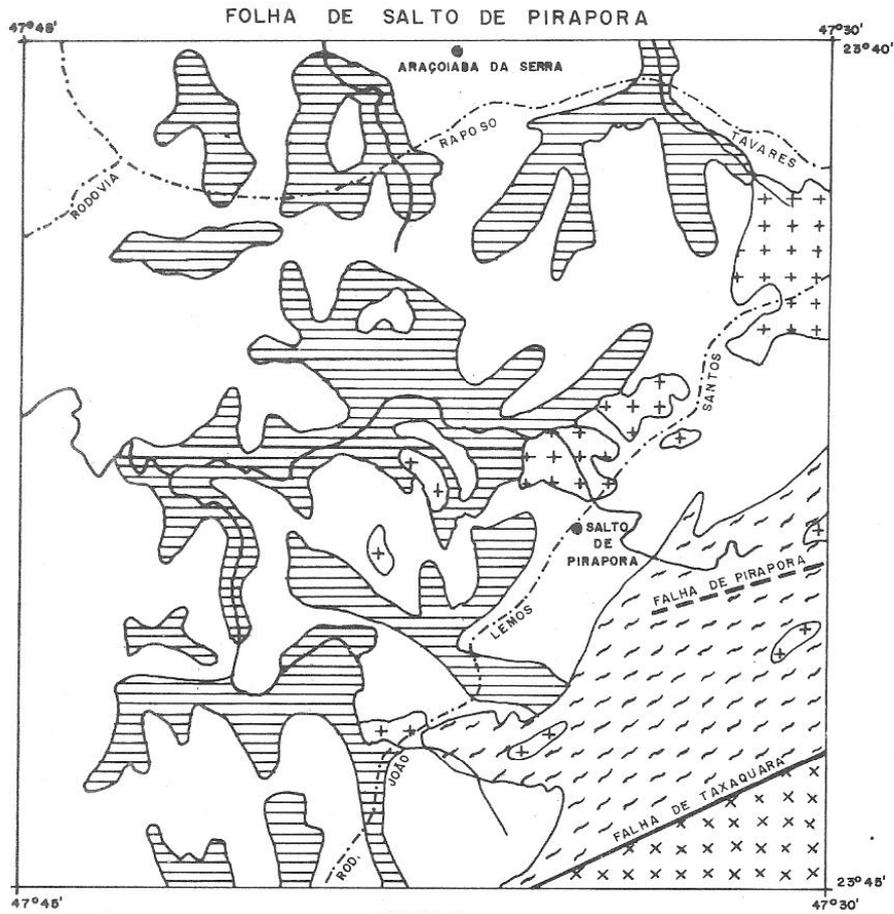
A Falha de Taxaquara, caracterizada por uma faixa de milonitos, corta o Embasamento Cristalino e o divide em dois blocos. O bloco sudeste compõe-se do Maciço Granitóide Pilar do Sul e metassedimentos e anfibolitos do Grupo Açungui. O bloco noroeste, é constituído por metassedimentos compreendendo metarritmitos, metassiltitos, metarenitos, metargilitos e uma pequena ocorrência de mármore impuro. São rochas de baixo grau metamórfico, associadas ao Grupo São Roque, de idade Pré-Cambriana Inferior a Média.

Ao norte da Falha de Taxaquara, circunscritos por sedimentos do Grupo Tubarão, afloram granitos pós-tectônicos de granulação variada, bem como hornfels, resultantes do metamorfismo de contato.

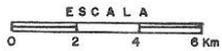
Os sedimentos do Subgrupo Itararé compreendem termos litológicos que variam de arenitos, lamitos, siltitos, ritmitos a diamictitos.

Os arenitos, de ocorrência mais comum, apresentam-se como possuidores de granulação que varia de muito fina a grossa, seleção entre os graus regular a bom e abundante matriz siltico-argilosa. Esta litologia ocorre em camadas e bancos, com espessuras atingindo pelo menos uma centena de metros, distribuindo-se por toda a área de estudo, inclusive na borda leste da bacia, transgredindo sobre o embasamento.

Os siltitos, em corpos que podem atingir até 50 m de espessura, apresentam-se restritos, ocorrendo somente na parte centro sul da área, sobreposto aos arenitos. Já os lamitos e ritmitos ocorrem nos vales dos principais rios da área, como Sarapuí, Pirapora, Iperó, Ipanema e ribeirões Iperó-Mirim, Lajeado, Jundiacanga e afluentes.



N LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



- FALHA
- CONTATO GEOLÓGICO
- DRENAGEM
- RODOVIA

SUBGRUPO ITARARÉ (P-C)

ARENITO

LAMITO

EMBASAMENTO CRISTALINO

GRANITO PÓS-TECTÓNICO

GRUPO SÃO ROQUE

MACIÇO GRANITÓIDE PILAR DO SUL

FONTE: INSTITUTO GEOLÓGICO (NO PRELO)

FIG. 1 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA ÁREA ESTUDADA

Os diamictitos aparecem em corpos irregulares e descontínuos, com espessuras de até 30 m e em vários níveis estratigráficos. Caracterizam-se pela presença de matriz arenosa na base, lamítica nas porções médias e superior, contendo desde seixos a matacões de diversas litologias.

Tectonicamente, dois ciclos foram distinguidos na área de estudo: o pré-Itararé e pós-Itararé. O mais antigo, de idade entre o pós-Proterozóico Superior e o pré-Carbonífero Superior, foi caracterizado por apresentar potentes falhamentos, como o de Pirapora e Taxaquara. O outro ciclo, associado à Reativação Wealdeniana, se manifestou no Jurássico Superior, resultando em intrusões de rochas alcalinas ao norte de Araçoiaba da Serra (Intrusão de Ipanema), com falhamentos radiais associados, afetando os sedimentos ao seu redor.

HIDRODINAMICA .

Na região mapeada, as águas subterrâneas estão conformadas, regionalmente, em dois aquíferos: Aquífero Cristalino e Aquífero Tubarão. Em cada um deles, a dinâmica das águas subterrâneas, seu armazenamento e circulação têm ocorrência específica, concordante com a litologia que os suportam. Desta forma, é possível distingui-los segundo sua porosidade predominante: no caso de Aquífero Cristalino, do tipo fissural e no outro, do tipo granular.

O Aquífero Cristalino é constituído por rochas do Embasamento pré-Cambriano, correspondente a rochas graníticas da Suíte Sintectônica - Fácies Cantareira (Proterozóico Superior) e a metassedimentos do Grupo São Roque. As ocorrências de águas subterrâneas nestas litologias estão restritas a áreas de descontinuidade rúpteis (fraturas, falhas) e a delgadas camadas de intemperismo. A ocorrência deste aquífero, compreende a porção leste da folha, abrangendo uma área de 124,4 km².

Neste domínio foram cadastrados 35 poços que obtêm água exclusivamente do Aquífero Cristalino. Entretanto em apenas 10 poços foi possível obter valores adequados para uma análise de características hidrodinâmicas.

Estudos regionais, DAEE(1982) e AGUIAR et al. (1984), permitiram estabelecer valores de transmissividade indicativos para este aquífero no intervalo de 0,3 a 196 m²/dia.

Os poços perfurados na área mostram uma capacidade específica média de 0,6 m³/h/m, com acentuada dispersão de valores. A distribuição destes resultados mostrou que 80% dos poços possuem capacidade específica inferior a 0,10 m³/h/m. Os restantes se conformam em 20% nos intervalos de 0,10 a 0,20 m³/h/m e 20% com mais 0,20 m³/h/m.

A vazão média dos poços é de aproximadamente 6,8 m³/h, com desvio padrão de 8,7.

Analisando-se as relações de profundidade dos poços com sua produtividade, observou-se que o intervalo de perfuração menor que 100 m mostrou melhores valores de capacidade específica por metro perfurado (média igual a 0,0208 m³/h/m/m) do que os outros intervalos de 100 a 150 m e > 150 m (médias de 0,0008 e 0,0002 m³/h/m/m, respectivamente) (Tabela 1).

Tais resultados vêm indicar que a probabilidade de melhora de vazão pelo aprofundamento do poço, quando este é superior a 100 m, é reduzida.

As rochas sedimentares do Grupo Tubarão - Subgrupo Itararé sustentam a outra unidade aquífera da região. Constituídas por arenitos permo-carboníferos, assentadas sobre discordância erosiva do Embasamento Cristalino, formam um aquífero do tipo granular, que por sua grande heterogeneidade horizontal e vertical se caracteriza como anisotrópica em relação à permeabilidade.

Tabela 1 - Resultados estatísticos de capacidade específica em relação a profundidade perfurada

AQUÍFERO	PROFUNDIDADE PERFORADA (m)	Nº DE POÇOS ANALISADOS	CAPACIDADE ESPECÍFICA MÉDIA (m ³ /h/m/m)	DESVIO PADRÃO
Cristalino	< 100	4	0,0200	0,0233
	100 - 150	3	0,0000	0,0003
	> 150	3	0,0002	0,0001
Tubarão	< 100	5	0,0024	0,0021
	100 - 150	8	0,0013	0,0009
	> 150	4	0,0001	0,0000

Considerado por muitos como um aquífero de capacidades limitadas, o Tubarão, em trabalhos regionais, apresentou valores de transmissividades de 0,34 a 10,0 m²/dia e capacidades específicas entre 0,02 e 8,50 m³/h/m. (DAEE, 1982; AGUIAR et al., 1984).

Os poços cadastrados neste aquífero, em número de 29, dos quais 17 com valores de características hidráulicas, mostram uma variação total da capacidade específica de 0,002 a 0,55 m³/h/m, com valor médio de 0,13 m³/h/m. A vazão média, analisados 31 poços, é de 4,9 m³/h, com desvio padrão de 4,1 (Figura 2).

A análise da produtividade dos poços em relação à profundidade indicou melhores valores de capacidade específica por metro perfurado no intervalo de profundidade menor que 100 m comparativamente aos de 100-150 m e > 150 m. Os poços do primeiro intervalo obtiveram valores médios de 0,0024 m³/h/m/m, enquanto que os do segundo e os do terceiro de 0,0013 m³/h/m/m e 0,0001 m³/h/m/m. Em contrapartida, os valores de desvio padrão, foram superiores no primeiro grupo, 0,0021, e menores no terceiro.

Tais resultados parecem indicar, que o aprofundamento de poços no Tubarão em relação a uma melhora na produtividade é pouco efetivo, quando estes já são superiores a 100 m, o que contraria, a tradição de perfuradores nesta região.

Vale acrescentar que ainda foram cadastrados 58 poços que exploram os Aquíferos Tubarão e Cristalino conjuntamente. Nestes poços, analisando-se 32 obras, os valores de capacidade específica mostraram-se dentro do intervalo de 0,01 a 3,92 m³/h/m.

O comportamento médio destes poços, em relação à produtividade, mostra-se superior aos que se utilizam somente do aquífero sedimentar, porém algo inferior aos que se utilizam do cristalino, conforme atestam os resultados de capacidade específica média: Aquífero Cristalino, 0,60 m³/h/m; Aquífero Sedimentar, 0,13 m³/h/m e obras mistas, 0,46 m³/h/m.

Por informações de companhias perfuradoras, existe uma significativa contribuição da vazão no contato entre os sedimentos do Tubarão e o Embasamento Cristalino, comparativamente ao resto do perfil geológico.

O fluxo da água subterrânea, na Folha de Salto de Pirapora, corre em direção à drenagem dos rios Sapapuí e Pirapora, que cortam a folha de leste para oeste, e apresentam, em seu curso mais baixo, as menores cotas topográficas da região, 540 m. Exceto na porção superior da folha, em que as águas subterrâneas se utilizam de drenagem que escoam para norte.

HIDROQUÍMICA

Para caracterizar a composição química e a qualidade das águas subterrâneas, foram coletadas amostras de água de 40 poços tubulares profundos. Estes poços foram selecionados com a preocupação de se obter a melhor distribuição em área na folha, considerando-se também as diversas litologias existentes.

Assim, 17 poços amostrados situaram-se no Aquífero Tubarão, 5 no Aquífero Cristalino e 20 poços exploram ao mesmo tempo os dois aquíferos.

Durante a amostragem, foram medidos "in situ" os seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura da água e do ar, pH, Eh, alcalinidade de bicarbonatos e carbonatos e CO₂ livre.

As amostras, devidamente acondicionadas e preservadas, foram enviadas ao Laboratório de Química Inorgânica e de Microbiologia da CETESB - São Paulo para análise química e bacteriológica.

Os elementos químicos e parâmetros analisados foram: cálcio, magnésio, sódio,

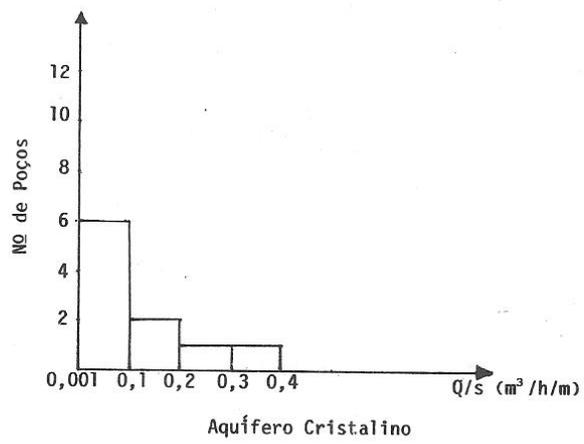
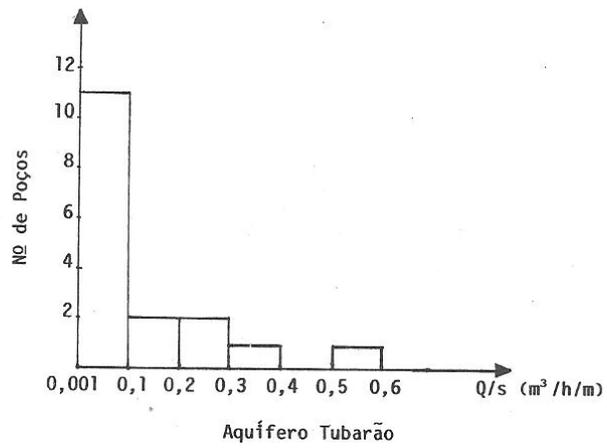


Fig. 2 - HISTOGRAMAS DE CAPACIDADE ESPECÍFICA NOS AQUÍFEROS TUBARÃO E CRISTALINO

potássio, cloreto, sulfato, nitrato, alcalinidade bicarbonato e carbonato, ferro total, ferro ferroso, amônia, alumínio, cobre, cromo hexavalente, manganês, fluoreto, ortofosfato, fosfato total, zinco, sílica, condutividade elétrica, dureza total e sólidos totais dissolvidos.

Composição Química e Classificação das Águas

Em geral, as águas subterrâneas apresentaram-se pouco mineralizadas, refletindo baixos valores de sólidos totais dissolvidos e de condutividade elétrica. Os maiores valores médios de STD (162,1 mg/l) e condutividade elétrica (222,8 uS/cm) são observados nas águas do Aquífero Tubarão. Os menores valores médios são encontrados no Aquífero Cristalino, com 87,0 mg/l de STD e 185,2 uS/cm de condutividade elétrica.

Quanto ao pH e Eh, estes variaram de 5,6 a 8,3 e -76 a 82 mV, onde o Aquífero Tubarão caracterizou-se por possuir águas de caráter mais básico que o Aquífero Cristalino. A temperatura da água, com pouca variação, se situou em 23°C, enquanto que a concentração de CO livre teve grande faixa de variação de teores médios de 22,8 mg/l nas água do Aquífero Tubarão e 21 mg/l no Aquífero Cristalino.

As águas têm, como elementos químicos predominantes os íons bicarbonatos (variando de 8,0 a 225,7 mg/l), cálcio (de 0,5 a 36,8 mg/l) e sódio (1,1 a 94,0 mg/l). Os demais elementos analisados, como potássio, alumínio, cobre, cromo hexavalente, ferro ferroso, fluoreto, ortofosfato, zinco e manganês, são encontrados em baixas concentrações nas águas subterrâneas locais.

Sob o aspecto da classificação da composição química das águas, estas variam de bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas cálcio-sódicas no Aquífero Tubarão, bicarbonatadas mistas no Aquífero Cristalino e bicarbonatadas cálcicas, mistas e sódicas em poços que exploram estes 2 aquíferos.

Qualidade das Águas Subterrâneas

Potencial de incrustação ou de corrosão. Através das classificações obtidas pelo Índice de Estabilidade de Rysnar (Logan, 1965), 16 amostras foram consideradas como potencialmente corrosivas ($I > 9,0$), 23 como pouco incrustantes e pouco corrosivas ($7,0 < I < 9,0$) e uma amostra como moderadamente incrustante ($I < 7,0$). Para esta característica corrosiva é necessária manutenção constante das obras de captação, sistema de bombeamento e de adução para uma maior vida útil destes equipamentos.

Consumo humano. As águas analisadas são, de maneira geral, de boa qualidade, no entanto, algumas amostras excederam os limites permitidos: 31% das águas não são recomendáveis ao uso nos parâmetros pH, Ca^{2+} e HCO_3^{-} , segundo os Diagramas Schoeller-BerKaloff, 4,8 % das águas excedem o padrão de potabilidade (NTA-60 e Ministério da Saúde) no elemento alumínio, 7,1 % no elemento manganês, 11,9 % nos teores de ferro e 2,5 % nas concentrações de flúor.

Em relação às análises bacteriológicas, constata-se a contaminação em 30 % dos poços tubulares, onde é notado o elevado valor na Contagem Padrão de Bactérias, indicando falta de manutenção e de medidas de proteção sanitária.

Uso industrial. Nas atividades industriais, em que se exige um criterioso controle da qualidade das águas, como nos sistemas de refrigeração e caldeiras, as águas devem ser utilizadas com critério, devido a tendência de ocorrer o fenômeno de corrosão nas paredes dos equipamentos. No que se refere as águas usadas no processamento industrial, principalmente na fabricação de produtos alimentícios, não existe significativas anomalias que evitem seu uso.

Uso agrícola e pecuário. As água são consideradas de excelente qualidade, não havendo restrição ao uso na agricultura e na pecuária.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS POÇOS

A análise das características construtivas visa traçar um perfil das obras de captação, indicando projetos que são sistematicamente usados na área.

Assim, o perfil mais representativo dos poços tubulares profundos existentes nos dois sistemas aquífero da área de estudo é aquele perfurado pelo sistema de percussão, com profundidade média de 100 m e câmara de bombeamento de 6 polegadas. Geralmente apresenta-se sem revestimento interno limitando-se a apenas um "tubo de boca".

O equipamento de bombeamento mais utilizado é a eletro-bomba submersa, seguido do compressor. Quanto a evolução das perfurações dos poços nota-se um incremento nos últimos anos, sobretudo após 1985, explicada pela carência de água superficial e aumento populacional na região.

USO E CONSUMO

Durante a consecução do Projeto, foram cadastrados 183 poços cobrindo a quase totalidade das obras de captação subterrânea da área. Com base nestes dados foi possível delinear o perfil do usuário do recurso. Entretanto, devido a falta de informação, não foi possível avaliar o volume total explorado.

Uso Urbano A área de estudos abrangeu dois núcleos urbanos de porte, Salto de Pirapora e Araçoiaba da Serra. De acordo com o levantamento do SEADE (1987) a cidade de Araçoiaba da Serra tem a totalidade de seu abastecimento suprido por poços da SABESP, num volume médio produzido de 29.000 m³/mês, para o atendimento de 4.100 habitantes (1986), (165 l/hab/dia, com perdas de 30%).

Salto de Pirapora é servida pela SABESP, por água de origem superficial, num volume de 80.000 m³/mês, atendendo a 11.200 habitantes (1986), ou 72% do total da população urbana. O déficit calculado para o ano em questão foi, considerando-se o consumo de 0,22 m³/hab/dia, de 22.300 m³/mês. Tal problema poderia ser solucionado com a perfuração de 4 a 5 poços tubulares (vazão média de exploração de 10 m³/h em regime de 20 horas/dia). Salto de Pirapora conta ainda com dois poços tubulares pertencentes a Prefeitura Municipal, para o atendimento de bairros fora do perímetro urbano.

O levantamento de campo identificou, respectivamente, 7 e 2 poços, na restrita área que os municípios de Sorocaba e Votorantim possuem na folha mapeada. O uso de tais poços objetiva solucionar total ou parcialmente a demanda de água de núcleos afastados, haja visto o menor investimento inicial e custo operacional das captações de água subterrânea, comparativamente a alternativas tradicionais de adução/tratamento/distribuição das águas superficiais.

Uso Particular Dos 183 poços tubulares cadastrados na área, 163 (89%) destinam-se ao abastecimento particular. Deste total, 55% (101 poços) atendem a propriedades rurais. Tal perfil do usuário é compatível com as atividades exercidas na região, caracterizada por propriedades rurais, geralmente com áreas menores que 10 ha.

O uso industrial dos poços tubulares se restringe às proximidades da cidade de Sorocaba e Salto de Pirapora, num total de 15 poços cadastrados (8% dos 183 poços). Na análise de tais cifras, deve-se levar em conta que o Município de Sorocaba só foi parcialmente estudado, não contemplando a sua sede, onde se concentra a maior parte das indústrias.

Os loteamentos da região, em número de 16, utilizam-se de poços para suprir suas necessidades de demanda (22 poços, 11%), mas não são raras as vezes em que a alternativa de abastecimento por poços resulte frutífera, haja visto a baixa produtividade das captações, limitada pelo contexto hidrogeológico.

Considerando-se os 22 poços, com vazão média de 11 m³/h por poço e um consumo de 0,15 m³/hab/dia, cada poço pode abastecer a 1.400 pessoas.

Poços particulares, em áreas urbanas para fins domésticos, se restringem a poucas captações. Em Araçoiaba da Serra, foram identificados apenas 2 poços.

CONCLUSOES

O Aquífero Cristalino é o que apresentou o maior valor de capacidade específica média (0,60 m³/h/m), seguido do Aquífero Tubarão (0,13 m³/h/m). Os melhores valores de produtividade por metro perfurado são encontrados em poços com profundidades inferiores a 100 metros.

O Aquífero Tubarão apresenta águas bicarbonatadas cálcicas e o Cristalino, bicarbonatadas sódicas. Os baixos valores de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e índice de troca de base indicam curto tempo de residência das águas.

De modo geral as águas subterrâneas obedecem aos padrões de potabilidade, não apresentando restrições ao consumo humano e agro-pecuário. Quanto ao uso industrial, medidas preventivas devem ser tomadas devido ao elevado potencial corrosivo, principalmente nos sistemas de refrigeração e caldeiras.

Os valores positivos de algumas análises bacteriológicas demonstram a falta de manutenção periódica e proteção sanitária dos poços tubulares.

Em geral os poços, independentemente da unidade aquífera perfurada, possuem profundidades que varia de 80 a 120 m, perfurados à percussão, e "tubo de boca" de 6 polegadas, não revestidos internamente e equipados com eletrobomba submersa.

Em Salto de Pirapora, o atendimento é feito por água superficial e complementado através de poços profundos, suprimindo satisfatoriamente a demanda. Já em Araçoiaba da Serra, o consumo é provido por poços de SABESP, que segundo a demanda teórica não atendem a totalidade exigida.

Do total de 165 poços particulares, 55 % atendem propriedades rurais, 11 % abastecem os loteamentos, 8 % restringem-se ao abastecimento industrial e o restante englobam atividades diversas como: restaurantes, hospitais, clubes etc.

BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, A. T. de; ANDRADE, E. de P.; HIRATA, R. C. A. e SILVA, R. B. G. da. (1984). DAEE -10 anos de experiência acumulada na exploração dos recursos hídricos subterrâneos. In: CONGR. BRAS. AG. SUBTERR., 3. Fortaleza, 1984. Anais.. Fortaleza, ABAS. p. 1-30.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). (1982). Estudo das águas subterrâneas, Região Administrativa 4 - Sorocaba. São Paulo. DAEE. 2v.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). (1987). Anuário Estatístico do Estado de São Paulo - 1986. 1 ed. São Paulo, 1981. 1 ed. São Paulo, SEADE. 583 p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO (IG). (1990). Mapeamento da Folha de Salto de Pirapora, Relatório Interno. São Paulo.
- LOGAN, J. (1985). Interpretação de análises químicas da água. Recife. U.S. Agency for International Development. 67 p.