

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS SISTEMAS AQUIFEROS CRISTALINO E TUBARÃO NA BACIA DO RIO JUNDIAÍ (SP)

HYDROGEOLOGIC CHARACTERIZATION OF THE CRYSTALLINE AND TUBARÃO AQUIFER SYSTEMS IN THE JUNDIAÍ RIVER CATCHMENT, SOUTHEASTERN BRAZIL

Mirna A. Neves¹; Norberto Morales² e Sueli Yoshinaga Pereira³

Recebido em: 25/09/2005, aceito em: 12/04/2006

RESUMO A maior parte da bacia do rio Jundiaí está situada sobre o Sistema Aquífero Cristalino, onde o fluxo da água subterrânea é condicionado às descontinuidades da rocha, e uma pequena parte da bacia ocorre sobre o Sistema Aquífero Tubarão, também de comportamento heterogêneo e anisotrópico. A produtividade destes aquíferos não difere muito: os poços que exploram o Sistema Aquífero Tubarão apresentam capacidade específica mediana de 0,09 m³/h/m e os que exploram o Sistema Aquífero Cristalino, assim como os poços mistos (que exploram ambos os sistemas aquíferos), possuem capacidade específica mediana de 0,07 m³/h/m. A distribuição de valores mostra grande variabilidade, a depender da localização dos poços em relação às estruturas geológicas com características (abertura e conectividade) favoráveis ao fluxo subterrâneo. Estas são estruturas rúpteis de direção NW-SE e E-W que ocorrem preferencialmente ao longo das zonas de cisalhamento e zonas de falhas de abrangência regional. O fluxo principal da água subterrânea na bacia ocorre de sudeste para noroeste, tendo como principais áreas de recarga as regiões serranas. A partir daí, as águas são direcionadas para a Bacia Sedimentar do Paraná, passando pelas estruturas geológicas citadas acima.

Palavras chave: sistema aquífero cristalino, sistema aquífero Tubarão, rio Jundiaí, água subterrânea.

ABSTRACT The Jundiaí River Catchment is located mainly on the Crystalline Aquifer System, where groundwater flow depends on rock discontinuities, and other part of this catchment is on the Tubarão Aquifer System, which behavior is also heterogeneous and anisotropic. The productivity of these aquifers is not so different: the wells that exploit the Tubarão Aquifer System have median specific capacity equal to 0,09 m³/h/m, and the ones that exploit the Crystalline Aquifer System, as well as the mixed wells (which exploit both aquifer systems), have specific capacity equal to 0,07 m³/h/m. The distribution of values is greatly variable, since the productivity depends on the location of wells in relation to the geological structures with characteristics (opening and connectivity) favour groundwater flow. They are brittle structures with NW-SE and E-W directions that occur mainly along the regional shear and fault zones. The main groundwater flow in the basin is from southeast to northwest and the main recharge area is in highlands. From highlands, groundwater is led to the Paraná Sedimentary Basin, passing by the geological structures cited above.

Keywords: crystalline aquifer system, Tubarão aquifer system, Jundiaí river, groundwater.

INTRODUÇÃO

A bacia do rio Jundiaí possui sérios problemas de disponibilidade hídrica superficial. Para garantir o abastecimento público do município de Jundiaí são revertidos 1,2 m³/s do rio Atibaia, cuja disponibilidade já é bastante solicitada pela reversão para a Região Metropolitana de São Paulo por meio do Sistema Cantareira. Esta situação vem causando aumento na demanda por água subterrânea, embora a situação hidrogeológica regional não seja das mais favoráveis. Grande parte da área está assentada sobre rochas cristalinas (Sistema Aquífero Cristalino) e o restante sobre depósitos sedimentares com matriz argilosa e de composição heterogênea (Sistema Aquífero Tubarão).

Não existem muitos estudos dirigidos à caracterização hidrogeológica regional. Além do

trabalho de Bertachini (1987), pioneiro na análise de aquíferos cristalinos sob clima úmido, existe o estudo apresentado por Cavalcante (1990), para a região de Atibaia e, enfocando o Sistema Aquífero Tubarão em áreas adjacentes à bacia do Jundiaí, podem ser citados os trabalhos de Stevaux et al. (1987) e Vidal (2002).

Em trabalho recente, Neves (2005) utiliza várias técnicas para definir os fatores que interferem na produtividade dos poços tubulares profundos existentes na bacia. Este trabalho gerou uma grande quantidade de dados hidrogeológicos que são agora apresentados visando a caracterização dos aquíferos presentes na bacia. Junto à caracterização hidrogeológica, outras informações do meio físico geraram subsídios para futuros trabalhos e para o gerenciamento adequado do recurso hídrico subterrâneo.

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

² Departamento de Petrologia e Metalogenia Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

³ Departamento de Geologia e Recursos Naturais Instituto de Geociências – UNICAMP.

MÉTODOS

O banco de dados utilizado neste trabalho inclui 1006 poços tubulares profundos obtidos no cadastro do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e de uma empresa particular de perfuração de poços. Devido à ausência de dados e à existência de muitos dados incorretos, nem todos os poços puderam ser incluídos no estudo. Foram selecionados apenas poços que possuem dados referentes ao nível estático, nível dinâmico e vazão, coletados em testes de bombeamento e que possibilitam o cálculo da capacidade específica. O tratamento estatístico foi feito com os programas Excel (*Microsoft Corporation*) e Statistica (*StatSoft*), utilizando-se conceitos básicos da Estatística Descritiva (WONNACOTT; WONNACOTT, 1990).

Os mapas de fluxo gerados neste trabalho foram traçados à mão, utilizando-se conceitos básicos da Hidrogeologia, dentre os quais destaca-se o procedimento detalhado descrito pela *Environmental Protection Agency - EPA* (1994). A distribuição heterogênea dos poços é um fator limitante para o uso de programas computacionais, já que existe concentração de dados em certos locais e ausência de informações em outros. Neste caso, levou-se em consideração o relevo e a rede de drenagem, seguindo a tendência verificada nos locais onde há informação disponível.

Conforme destacam Neves et al. (2004), já há indícios de exploração excessiva dos aquíferos na bacia do rio Jundiá. Naquele trabalho, o estudo da evolução dos níveis da água e da produtividade dos poços mostrou que houve

queda acentuada dos mesmos ao longo do tempo, principalmente quando se compara o conjunto de dados da década de 70 com outro da década de 90. Por este motivo, o mapa de fluxo da água subterrânea considera os níveis estáticos da década de 70, considerados mais próximos do fluxo original, sem os possíveis efeitos de interferência ou de rebaixamento causado pela exploração excessiva do aquífero. O mapa de fluxo apresentado em escala 1:570.000 é de caráter regional, onde a equidistância das equipotenciais é de 50 m. Destacamos que os dados de nível estático mostraram coerência entre si e com as curvas de nível e a rede de drenagem, as quais serviram de apoio para o traçado do mapa em locais sem informações de poços.

Para a confecção dos mapas-base e dos perfis de poços foram utilizados os programas Autocad-2005 (*AutoDesk*) e CorelDraw-12 (*Corel Corporation*). O modelo digital do terreno foi elaborado utilizando-se o programa *Surfer* (*Golden Software*).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo constitui um polígono retangular que envolve toda a bacia do rio Jundiá (Figura 1a). Os municípios de Jundiá, Itupeva, Indaiatuba, Cabreúva e Salto estão, em sua grande parte, situados dentro dos limites da bacia; os municípios de Várzea Paulista e Campo Limpo Paulista estão integralmente dentro destes limites, enquanto os municípios de Itu, Jarinu, Atibaia e Mairiporã têm apenas uma pequena porcentagem de sua área no interior da bacia (Figura 1b)

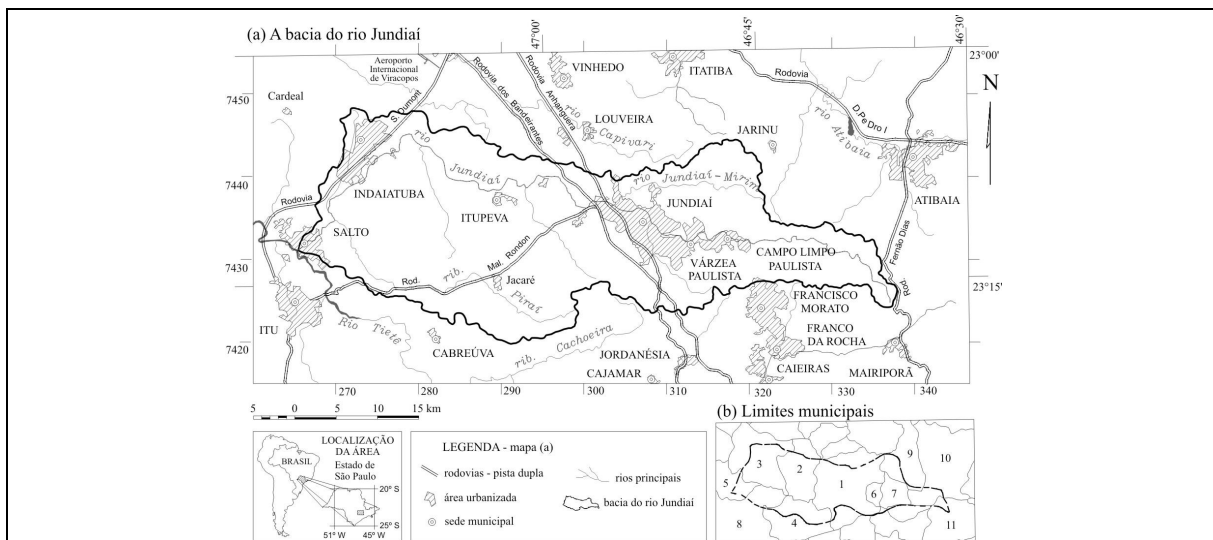


Figura 1- (a) Mapa de localização da bacia do rio Jundiá e (b) limites dos municípios dentro da bacia

Figure 1- (a) Location map of Jundiá river basin and (b) municipalities limits inside the basin

(1) Jundiá; (2) Itupeva; (3) Indaiatuba; (4) Cabreúva; (5) Salto; (6) Várzea Paulista; (7) Campo Limpo Paulista; (8) Itu; (9) Jarinu; (10) Atibaia; (11) Mairiporã

A bacia do rio Jundiá, com seus 1114 km², situa-se a menos de 100 km do litoral, mas as serras do Planalto Atlântico direcionam a drenagem de suas águas para oeste, rumo ao interior continental (Figura 2). O rio Jundiá nasce na Serra da Pedra Vermelha, a 1.000 m de altitude, e percorre aproximadamente 110 km antes de desaguar no rio Tietê, na cidade de Salto, onde a altitude fica em torno de 550 m acima do nível médio do mar. Os principais afluentes do rio Jundiá são o rio Jundiá-Mirim e o ribeirão Piraí.

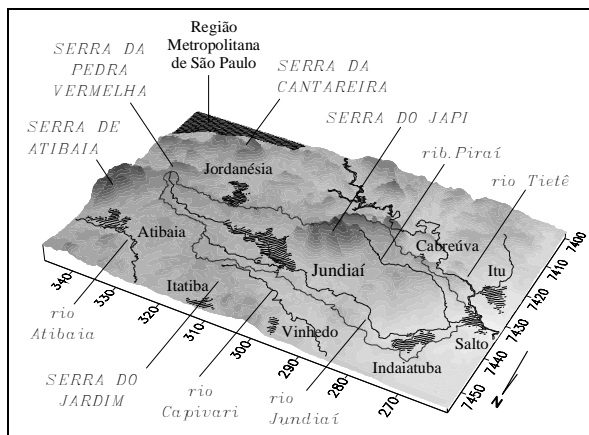


Figura 2- Modelo digital do terreno da bacia do rio Jundiá e áreas adjacentes

Figure 2- Digital terrain model for Jundiá river basin and adjacent area

A vegetação da bacia se concentra nas regiões serranas e sua preservação se deve, em grande parte, à criação das Áreas de Proteção Ambiental - APAs de Jundiá e Cabreúva. Juntas, estas APAs somam 69.300 hectares e ocupam 40% da bacia do rio Jundiá (São Paulo, 2000).

Clima e pluviosidade

O clima da região sofre influência das massas de ar Tropical Atlântica, Tropical Continental e Polar Atlântica (São Paulo, 2000). O regime térmico possui características tropicais

e subtropicais, com temperatura média anual variando entre 18° C e 20° C.

Na classificação climática do Estado de São Paulo pelo sistema Köppen, a área se situa na transição entre os climas Cwa, Cfa e Cfb (Figura 3a). Essa variação climática possivelmente está ligada à topografia acidentada da região, situada entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica, além das influências das massas de ar vindas do oceano (SETZER, 1966). Na classificação climática baseada na efetividade da precipitação, a área apresenta os climas Bcr, Bcw e Ccw (Figura 3b). O clima tipo “B” é considerado muito úmido e o tipo “C” é úmido; a letra “w” indica que há estiagem no inverno e “r” significa que não há estiagem pronunciada durante o ano todo.

A precipitação anual varia entre os 1.200 e 1.800 mm. Os meses mais secos são julho e agosto, com médias pluviométricas mensais entre 25 e 40 mm, e os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro, com médias entre 190 e 215 mm (São Paulo, 2000).

As estações pluviométricas distribuídas pela área mostram variações na precipitação média mensal ao longo da bacia (São Paulo, 2005): os maiores índices ocorrem na estação E3-084, próximo a Louveira, e os menores índices na estação E4-016, em Salto (Figura 4).

Geologia

A maior parte da bacia do rio Jundiá está situada sobre o Embasamento Cristalino do Pré-Cambriano (Figura 5). Predominam rochas pertencentes ao Complexo Amparo, composto basicamente por gnaisse com intercalações de quartzitos, xistos e anfibolitos (HASUI et al., 1981). Na porção sul da área ocorrem rochas do Domínio São Roque, constituído por seqüências metassedimentares (Grupo São Roque) e metavulcanossedimentares (Grupo Serra do Itaberaba) (JULIANI; BELJAVSKIS, 1995). Intrusões granitóides são muito comuns em ambas as unidades.

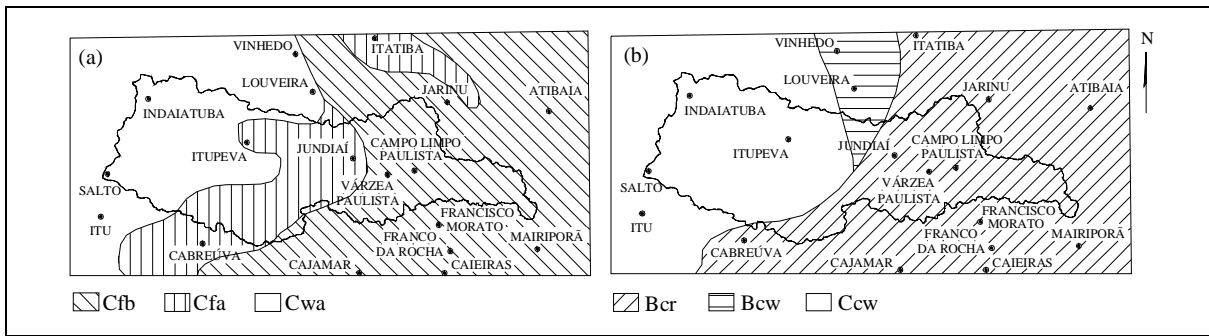


Figura 3- (a) Classificação climática da área de estudos pelo Sistema Köppen e (b) de acordo com a efetividade da precipitação (Setzer, 1966 modificado)

Figure 3- (a) Climate classification of study area according to Köppen system (b) according to efectivity of precipitation (Modified from Setzer, 1966)

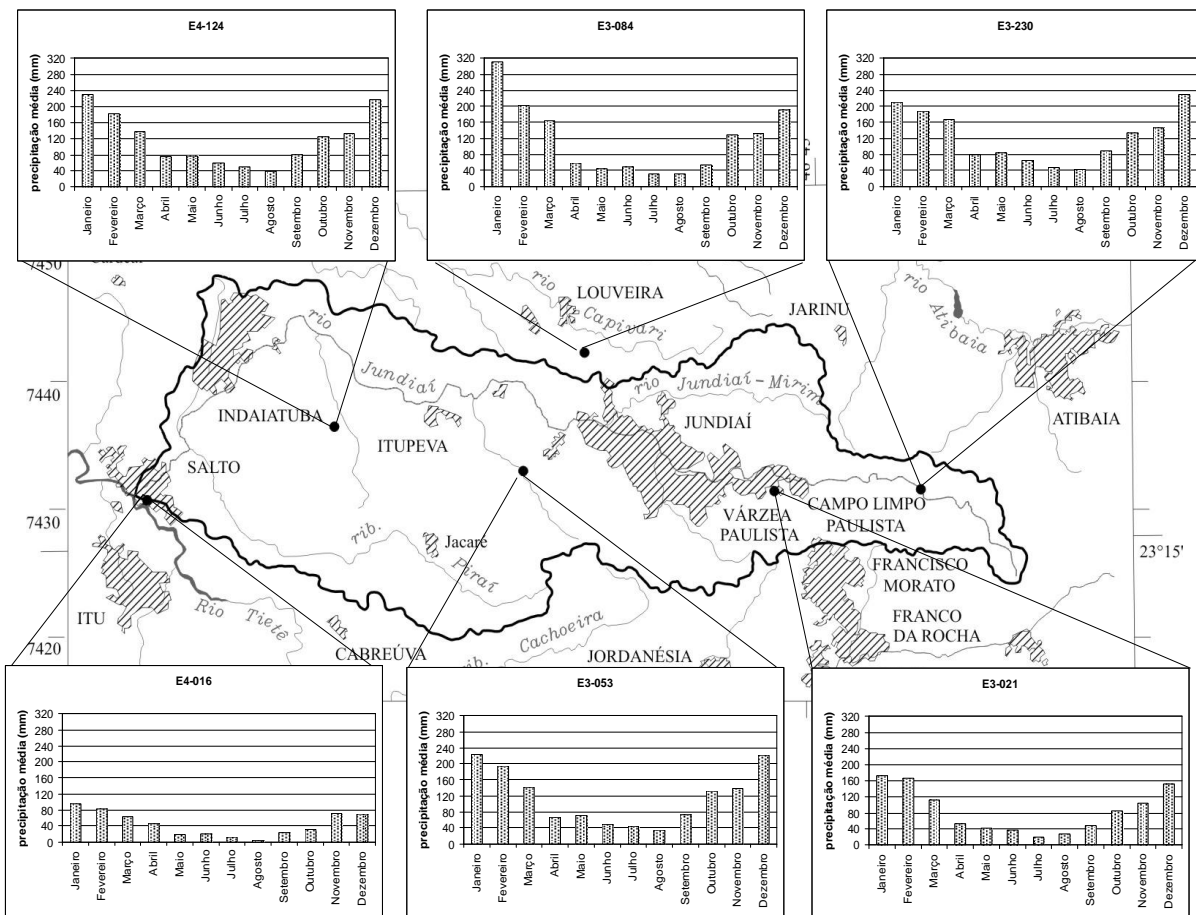


Figura 4- Pluviogramas médios acumulados em estações pluviométricas da área de estudos

Figure 4- accumulated average pluviograms observed in pluviometric stations inside the the study area

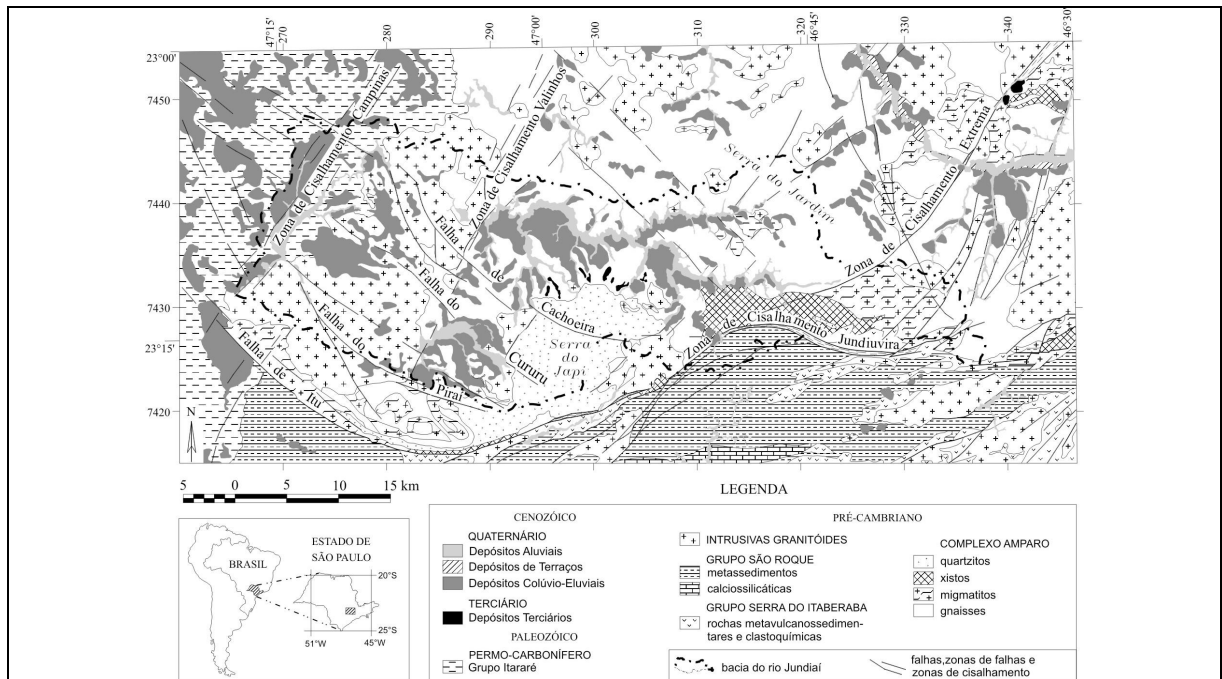


Figura 5- Mapa geológico simplificado da área e as principais estruturas geológicas regionais (NEVES, 2005 modificado)
 Figure 5- Simplified geological map of the study area, showing the main regional structural features (Modified from NEVES, 2005)

Rochas sedimentares paleozóicas pertencentes ao Grupo Itararé ocupam o lado oeste da área, nos domínios da Bacia Sedimentar do Paraná, e compõem pequenos corpos isolados nas proximidades de Jundiá (Figura 5). Outras coberturas sedimentares importantes são as ocorrências locais de Depósitos Terciários (Neves et al., 2005), Depósitos Colúvio-Eluviais, Depósitos de Terraços e Depósitos Aluviais quaternários (Neves, 2005).

As zonas de cisalhamento Jundiuvira, Extrema, Valinhos e Campinas e as falhas de Itu, do Piraí, do Cururu e de Cachoeira constituem importantes estruturas geológicas que compartimentam a área, controlam o relevo e a configuração de toda a bacia do rio Jundiá (Neves et al., 2003).

Uso da água subterrânea

Dentre os poços cadastrados, 84,4% trazem informações quanto ao uso da água subterrânea (Figura 6). A maior parte deles (39%) se destina ao abastecimento industrial, 18% ao uso doméstico; 9% não são utilizados; porcentagens iguais de 8% se destinam ao abastecimento urbano e a outros usos como, por exemplo, para lazer; 7% são usados para irrigação; 6% para serviços (como postos de gasolina, pequenas empresas de prestação de serviços etc); 4% para pecuária; apenas 1% para usos múltiplos e menos de 1% para mineração e piscicultura.

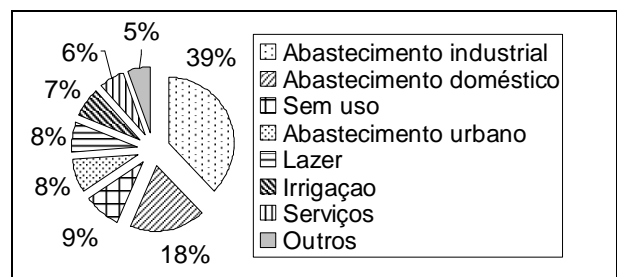


Figura 6- Uso da água subterrânea na bacia do rio Jundiá
 Figure 6- Groundwater use in the Jundiá river basin

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Na bacia do rio Jundiá, predomina o Sistema Aquífero Cristalino (Figura 7). Ele envolve as rochas do Embasamento Cristalino, cuja permeabilidade está condicionada à ocorrência de descontinuidades (falhas e juntas) e, em certos casos, contatos litológicos. É classificado como livre a semiconfinado, descontínuo e heterogêneo. A transmissividade varia de 0,1 a 100 m²/dia (LOPES, 1994). Acima da rocha fraturada, o manto de alteração ou manto de intemperismo pode constituir um aquífero de porosidade granular que é responsável pela maior parte do escoamento básico da bacia. Para Neves (2005), a presença do manto de alteração em zonas de fraturas tectonicamente abertas é fator

fundamental para a obtenção de poços com produtividade elevada neste sistema aquífero.

Na região de Atibaia, ao leste de Jundiá, Cavalcante (1990) conclui que o manto de intemperismo funciona como zona de recarga para o aquífero fraturado, fato constatado pelo aumento da concentração iônica das águas dos poços escavados, situados no manto de intemperismo, para as águas dos poços tubulares profundos, que exploram a rocha fraturada. As águas são classificadas como fortemente bicarbonatadas, mistas ou com pequeno predomínio de cálcio (BERTACHINI, 1987) e são pouco mineralizadas, com resíduo seco menor do que 300 mg/l. O pH varia entre 4,5 e 6,0 nas águas extraídas dos poços escavados e entre 5,5 e 8,0 nas dos poços tubulares profundos (CAVALCANTE, 1990).

Em uma pequena faixa no lado oeste da bacia ocorre o Sistema Aquífero Tubarão (Figura 7), também conhecido nesta área como Aquífero Itararé por compreender as rochas sedimentares do Grupo Itararé. É um aquífero de porosidade granular, comportamento livre a semiconfinado,

descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Os valores de transmissividade variam de 0,3 a 40 m²/dia (LOPES, 1994). A heterogeneidade vertical e horizontal desta unidade confere baixa permeabilidade e potencialidade limitada ao aquífero (STEVANUX et al., 1987). Mesmo onde há considerável espessura de arenitos, existe grande variação da capacidade específica dos poços, o que se deve à pequena dimensão e à falta de conectividade entre os corpos arenosos (VIDAL, 2002).

De acordo com Vidal (2002), as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Tubarão são bicarbonatadas cálcicas junto à borda leste da área de afloramento e se tornam bicarbonatadas sódicas para oeste, rumo ao interior da Bacia do Paraná. A salinidade aumenta no mesmo sentido. Além destes, a bacia conta ainda com o Sistema Aquífero Cenozóico (Figura 7), que ocorre distribuído ao longo das planícies aluviais dos principais canais de drenagem.

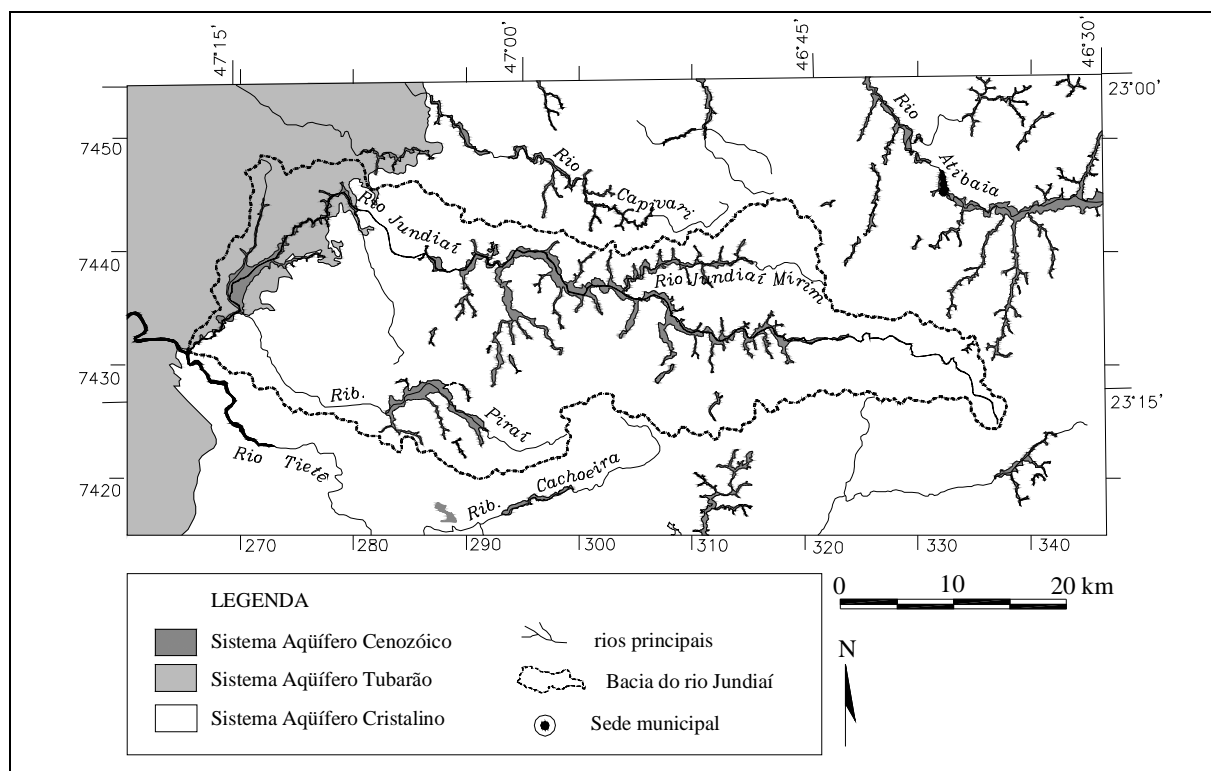


Figura 7- Sistemas aquíferos presentes na bacia do rio Jundiá

Figura 7- Aquifers system inside the Jundiá river basin

A seguir, apresenta-se a descrição dos dados dos poços que exploram os sistemas aquíferos Cristalino e Tubarão e daqueles que exploram ambos os sistemas aquíferos, os quais são denominados poços mistos. Como o número de

poços cadastrados que exploram o Cenozóico é muito pequeno, ele não foi incluído neste estudo.

Sistema aquífero cristalino

No banco de dados compilado existem 899 poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino. Destes, 47% exploram apenas a rocha fraturada, 7% exploram tanto o manto de intemperismo quanto a rocha fraturada, 1,4% exploram apenas o manto de intemperismo e o restante (quase 45%) não apresenta informação.

Muitas vezes faltam perfis geológicos e construtivos nos bancos de dados disponíveis e, portanto, a porcentagem de poços que exploram o manto de alteração pode ser bem maior.

A figura 8 mostra os perfis geológico-construtivos típicos dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino. Os poços que exploram apenas a rocha fraturada não alterada são revestidos com tubo liso ao longo de todo o manto de intemperismo (Figura 8a). Em alguns poços, um ou mais filtros são instalados para captar também a água do aquífero de porosidade que ocorre na camada de rocha alterada (Figura 8b). Outros poços não penetram a rocha sã, explorando apenas o manto de alteração (Figura 8c) e, nestes casos, o filtro é geralmente instalado na base da camada alterada.

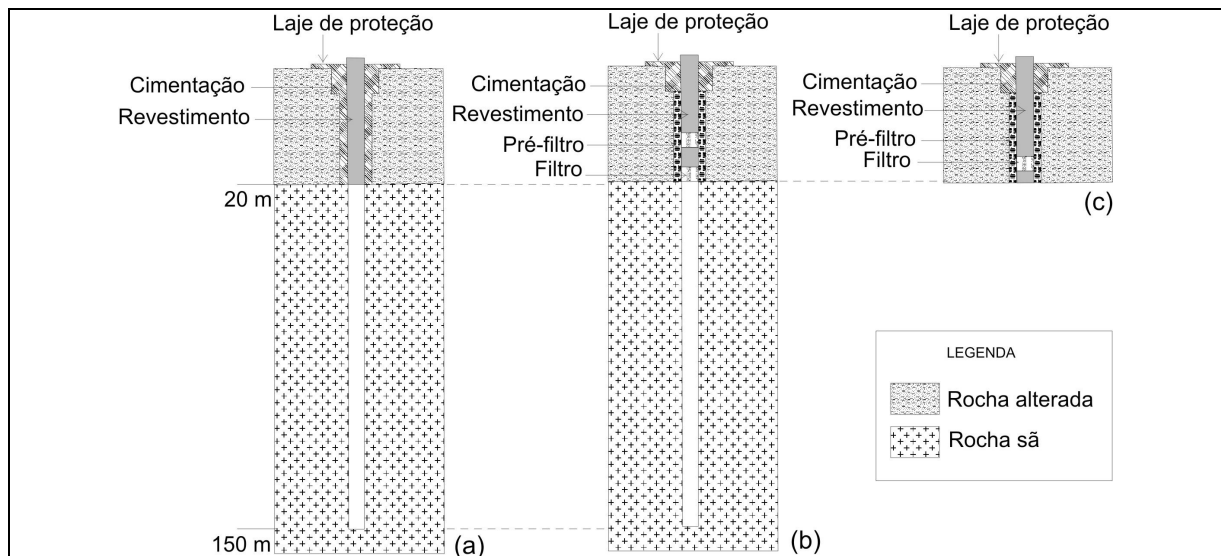


Figura 8- Perfis geológico-construtivos típicos dos poços tubulares profundos que exploram (a) a rocha sã, (b) tanto a rocha sã quanto o manto de intemperismo e (c) o manto de intemperismo do Sistema Aquífero Cristalino (OBS: as profundidades indicadas correspondem aos valores medianos)

Figure 8- Typical well logs from deep well exploiting (a) the bed-rock, (b) both bed-rock and soil and, (c) only the soil over the Crystalline aquifer system (OBS: The mentioned depths are related to the mean values)

A profundidade dos poços é uma variável que depende muito da escolha do perfurador, das necessidades do cliente e do tipo de uso pretendido. Certamente, tais fatores influenciam os parâmetros estatísticos e a distribuição dos valores aqui apresentados. De qualquer forma, é interessante notar que a distribuição dos valores de profundidade tende a ser do tipo normal (Figura 9a). Os poços que exploram apenas o manto de intemperismo têm profundidade média

de 30 m e mediana de 20 m; o valor mínimo é 5,4 e o máximo, 68 m. Já os poços que exploram apenas a rocha sã, ou tanto o manto de intemperismo quanto a rocha sã, têm profundidade média de 156 m e mediana de 150 m; o valor mínimo é de 12 e o máximo chega a 370 m. O desvio padrão está em torno dos 64 m, com coeficiente de variação de 40,8 % (Tabela 1).

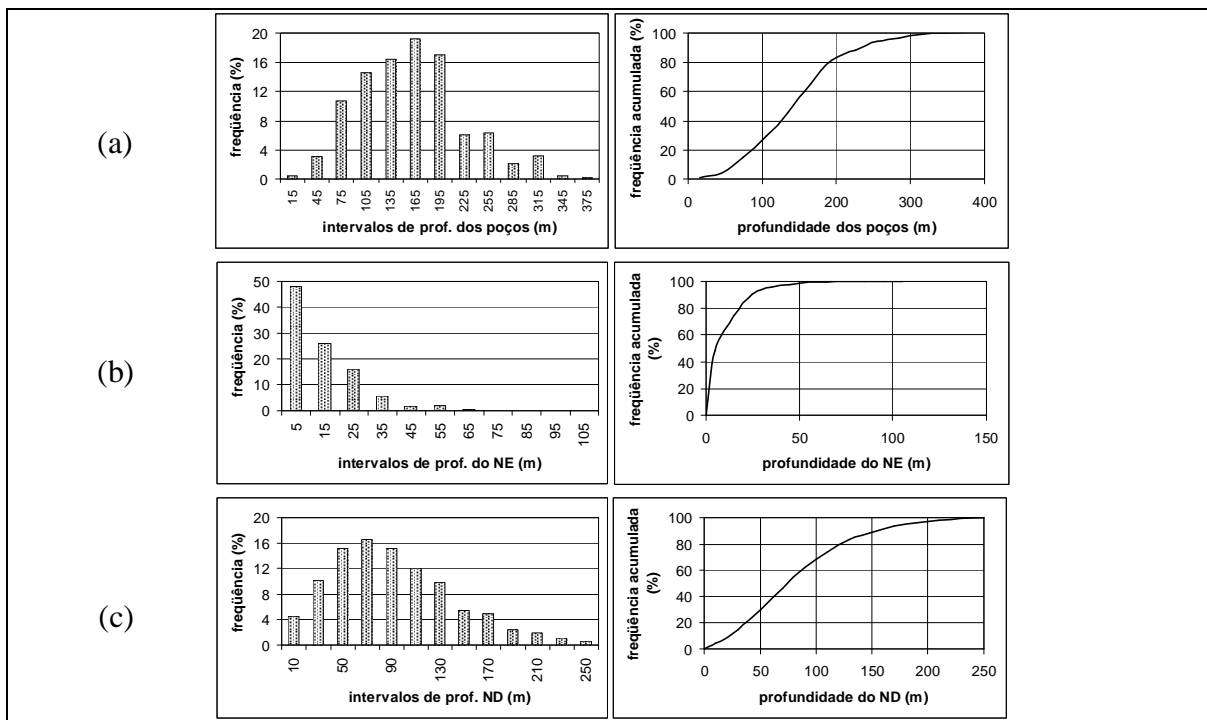


Figura 9- Histograma e diagrama de frequência acumulada da (a) profundidade dos poços, (b) profundidade do nível estático e (c) profundidade do nível dinâmico no Sistema Aquífero Cristalino

Figure 9- Histogram and accumulated frequency diagram of (a) well depths (b) groundwater static level and (c) depth of the dynamic level in the Crystalline aquifer system

A distribuição dos valores de profundidade do nível estático (NE) e do nível dinâmico (ND) dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino são distintas, a primeira é exponencial (Figura 9b) e a segunda é do tipo log-normal (Figura 9c). A profundidade média do NE é de 14 m e a mediana é de 10 m, com valor mínimo de 0,34 e máximo de 123 m; o desvio padrão é de 13 m e o coeficiente de variação, é de quase 94 % (Tabela 1). Para o ND, obteve-se profundidade média de aproximadamente 91 m, mediana de 82 m, desvio padrão de 50,3 m e coeficiente de variação de aproximadamente 56 % (Tabela 1).

A vazão dos poços que exploram o Sistema

Aquífero Cristalino apresenta distribuição exponencial (Figura 10a), refletindo a grande quantidade de valores baixos e a pequena quantidade de valores altos, como é típico nos aquíferos fraturados. A vazão média é de 7,6 m³/h e a vazão mediana, mais significativa do que a média neste tipo de distribuição, é de 4,8 m³/h (Tabela 1). O valor mínimo é 0,03 m³/h e o valor máximo considerado seguro (descartando-se possíveis erros de medida) é 96 m³/h. O desvio padrão é de 9,9 m³/h, com coeficiente de variação de 131%. O gráfico de frequência acumulada da vazão mostra que em quase 90% dos poços ela é menor do que 10 m³/h.

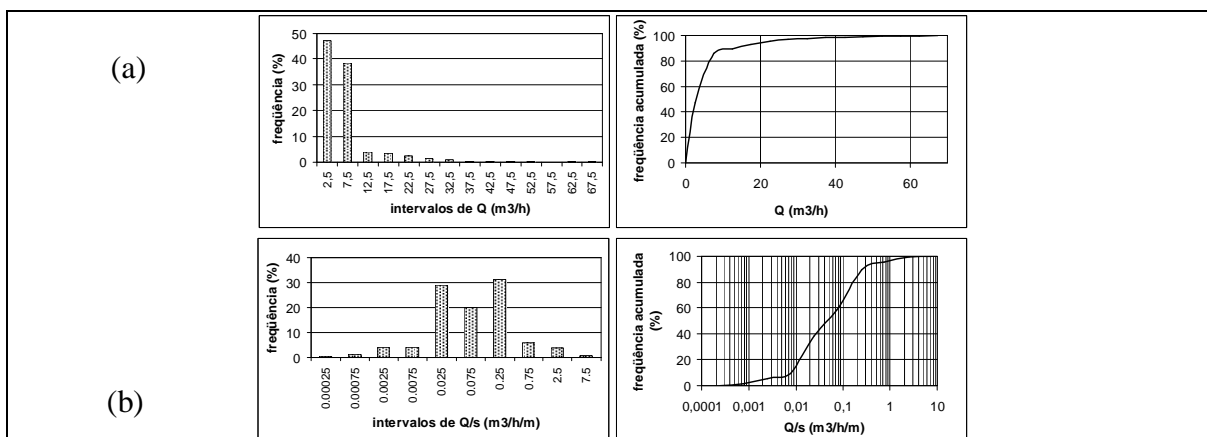


Figura 10- Histograma e diagrama de frequência acumulada (a) da vazão e (b) da capacidade específica dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino

Figure 10- Histogram and accumulated frequency diagram of (a) yielding and (b) specific capacity of wells drilled into the Crystalline aquifer system

A capacidade específica (Q/s), da mesma forma que a vazão, apresenta distribuição log-normal (Figura 10b). A capacidade específica média é de 0,24 m³/h/m, mas a mediana é de

apenas 0,07 m³/h/m (Tabela 1). O valor mínimo é 0,0002 m³/h/m e o máximo considerado seguro é 10,6 m³/h/m. O desvio padrão é de 0,64 m³/h/m e o coeficiente de variação chega a 264%.

Tabela 1- Parâmetros dos poços tubulares profundos no Sistema Aquífero Cristalino
 Table 1-Data from wells drilled into the Crystalline aquifer system

Sist. aquífero cristalino	Média	Mediana	Moda	Desv.pad.	Coef. Var. (%)
Profundidade dos poços (m)	155,93	150,00	150,00	63,68	40,84
Prof. do nível estático (m)	13,84	10,00	2,00	12,95	93,57
Prof. do nível dinâmico (m)	90,56	82,00	50,00	50,29	55,53
Vazão (m ³ /h)	7,55	4,80	6,00	9,89	131,02
Capacidade específica (m ³ /h/m)	0,24	0,07	0,10	0,64	264,00

Sistema Aquífero Tubarão

Na área de estudos foram cadastrados 67 poços tubulares profundos que exploram o Sistema Aquífero Tubarão, dentre os quais 36 (54%) trazem informações quanto ao perfil geológico. A maior parte não atinge o topo do Embasamento Pré-Cambriano, mas 17 deles chegam até o topo da rocha cristalina a profundidades que variam de 52 a 180 m (Figura 11).

Geralmente, o intervalo produtivo dos poços está em camadas de arenito silicificado, onde não é necessária a utilização de tubo de revestimento, o qual é instalado apenas na seção geológica com litotipos menos coesos (Figura 11a). Em outras

situações, além de explorar água do arenito silicificado, são instalados filtros ao longo da seção revestida do poço para captar água de camadas arenosas interdigitadas com outros litotipos (Figura 11b). Já nos locais onde não ocorrem arenitos silicificados, o poço é totalmente revestido e os filtros instalados em camadas de arenito produtivo (Figura 11c).

A profundidade dos poços apresenta uma distribuição que tende a ser log-normal (Figura 12a). A profundidade média é de aproximadamente 137 e a mediana 125 m (Tabela 2), o valor mínimo é 6 m e o máximo 331 m. O desvio padrão é de 76 m e o coeficiente de variação, 55,5%.

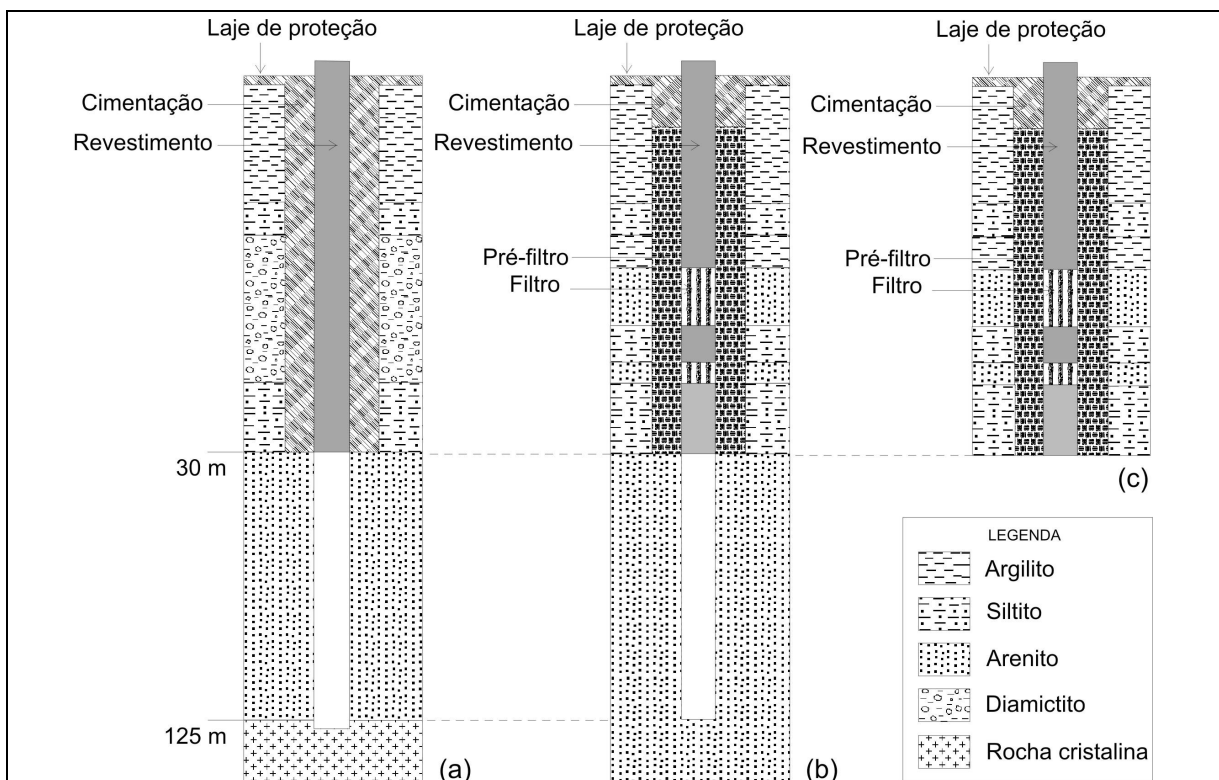


Figura 11- Perfis geológico-constructivos típicos dos poços tubulares profundos que exploram o Sistema Aquífero Tubarão (OBS: as profundidades indicadas correspondem aos valores medianos)

Figure 11- Typical well logs from deep well exploiting (a) the bed-rock, (b) both bed-rock and soil and, (c) only the soil over the Tubarão aquifer system (OBS: The mentioned depths are related to the mean values)

Assim como no Sistema Aquífero Cristalino, a distribuição dos valores do nível estático e do nível dinâmico no Sistema Aquífero Tubarão tende a ser, respectivamente, do tipo exponencial (Figura 12b) e log-normal (Figura 12c). Porém, como no Tubarão o tamanho da amostra é menor, há algumas anomalias, mas que não chegam a mascarar totalmente a tendência de distribuição. O nível estático médio é de aproximadamente 23

m de profundidade e a mediana é de 18 m; o valor mínimo está próximo de zero e o máximo é de 84,7 m, com desvio padrão de 19 m e coeficiente de variação de 85% (Tabela 2). O nível dinâmico tem valor médio em torno dos 82 m e o mediano em 72 m; o valor mínimo é de aproximadamente 6 m e o máximo de 184 m, com desvio padrão de 48 m e coeficiente de variação de 59 %.

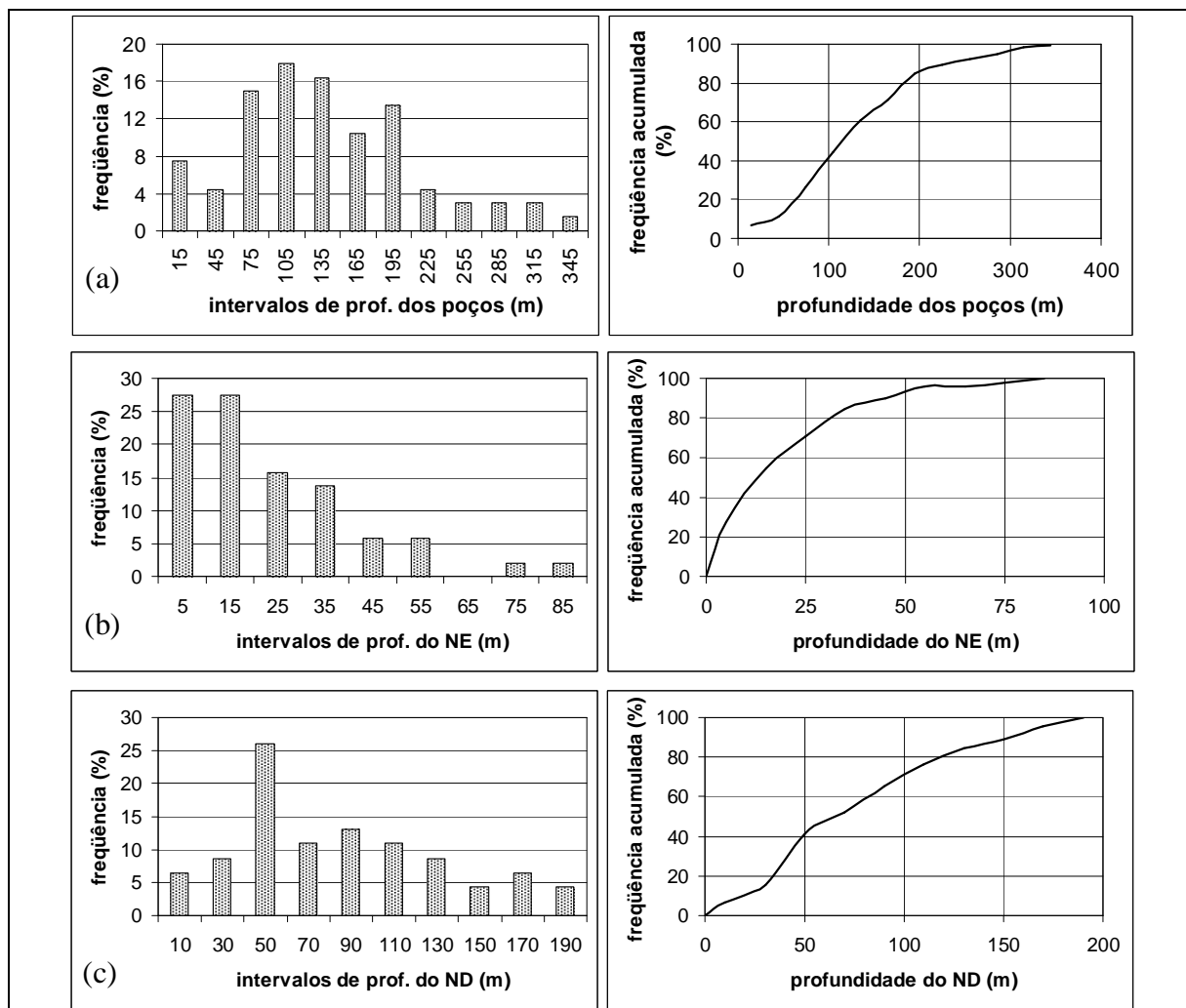


Figura 12- Histograma e diagrama de freqüência acumulada da (a) profundidade dos poços, (b) profundidade do nível estático e (c) profundidade do nível dinâmico no Sistema Aquífero Tubarão

Figure 12- Histogram and accumulated frequency diagram from (a) well depths (b) groundwater static level and (c) depth of the dynamic level in the Tubarão aquifer system

A distribuição dos valores de vazão não mostra um padrão bem definido, mas pode-se dizer que tende a ser do tipo exponencial (Figura 13a). O valor médio é de aproximadamente 8 m³/h e a mediana é igual a 5,5 m³/h (Tabela 2), o valor mínimo registrado é de 0,6 m³/h e o máximo é de 33 m³/h. O desvio padrão fica em torno dos 8 m³/h e o coeficiente de variação é de 98%.

A capacidade específica apresenta distribuição tendendo a normal (Figura 13b). O valor médio é de 0,32 m³/h/m e a mediana é de 0,09 m³/h/m (Tabela 2), com mínimo de 0,007 e máximo de 4,8 m³/h/m. O desvio padrão é de 0,77 m³/h/m, com coeficiente de variação de aproximadamente 237%.

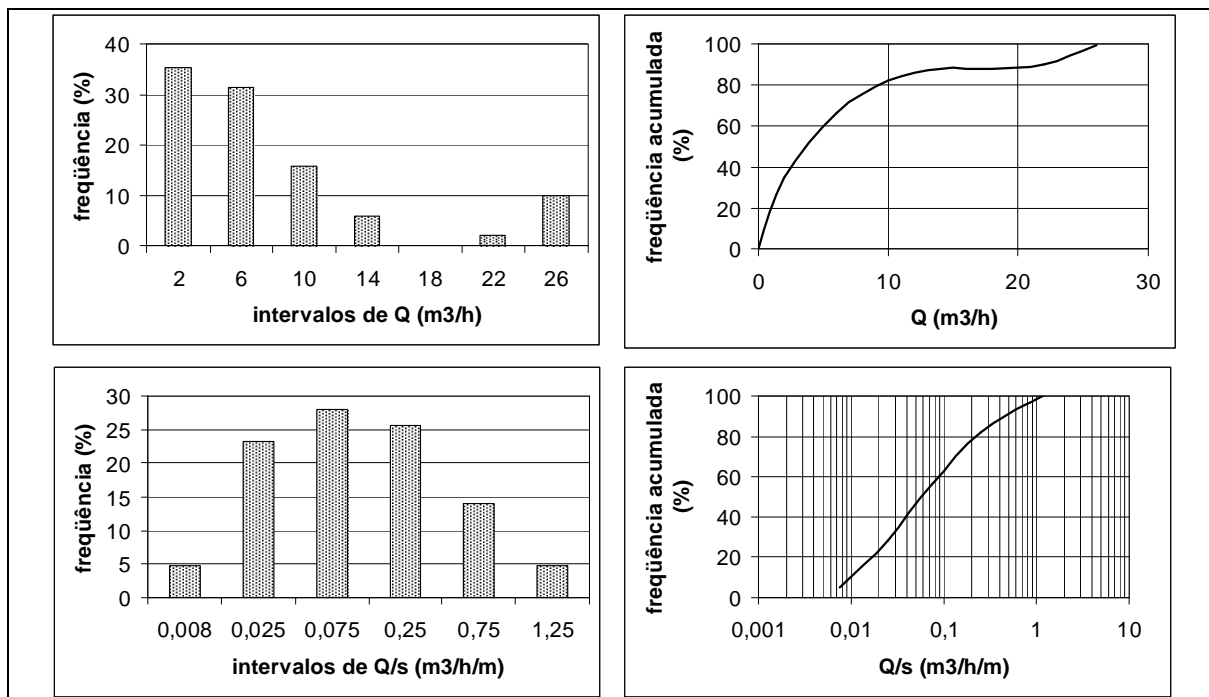


Figura 13- Histograma e diagrama de frequência acumulada (a) da vazão e (b) da capacidade específica dos poços que explotam o Sistema Aquífero Tubarão

Figure 13- Histogram and accumulated frequency diagram of (a) yielding and (b) specific capacity of wells drilled into the Tubarão aquifer system

Tabela 2- Parâmetros dos poços tubulares profundos no Sistema Aquífero Tubarão

Table 2- Data from wells drilled into the Tubarão aquifer system

Sistema aquífero tubarão	Média	Mediana	Moda	Desv.pad.	Coef. Var. (%)
Profundidade dos poços (m)	136,72	125,00	6,00	75,90	55,51
Prof. do nível estático (m)	22,82	18,00	0,00	19,32	84,64
Prof. do nível dinâmico (m)	81,81	71,75	40,00	48,09	58,78
Vazão (m ³ /h)	7,75	5,50	8,00	7,61	98,14
Capacidade específica (m ³ /h/m)	0,32	0,09	#N/D	0,77	237,32

Poços Mistos

Foi possível identificar 40 poços mistos, seja por informação presente nos bancos de dados, seja pela análise dos perfis geológico-construtivos. Estes poços possuem uma ou mais seções com filtro no Grupo Itararé e também grande parte da seção penetrando no Embasamento Cristalino (Figura 14).

Assim como os poços descritos anteriormente, os poços mistos são revestidos

com tubo liso ao longo da seção geológica onde ocorrem litotipos pouco coesos e são desprovidos do mesmo ao longo das camadas de arenito silicificado produtoras de água e dos litotipos pré-cambrianos (Figura 14a). Porém, em outras situações, é instalado tubo de revestimento com seção filtrante nas camadas de arenito incoeso e produtivo (Figura 14b).

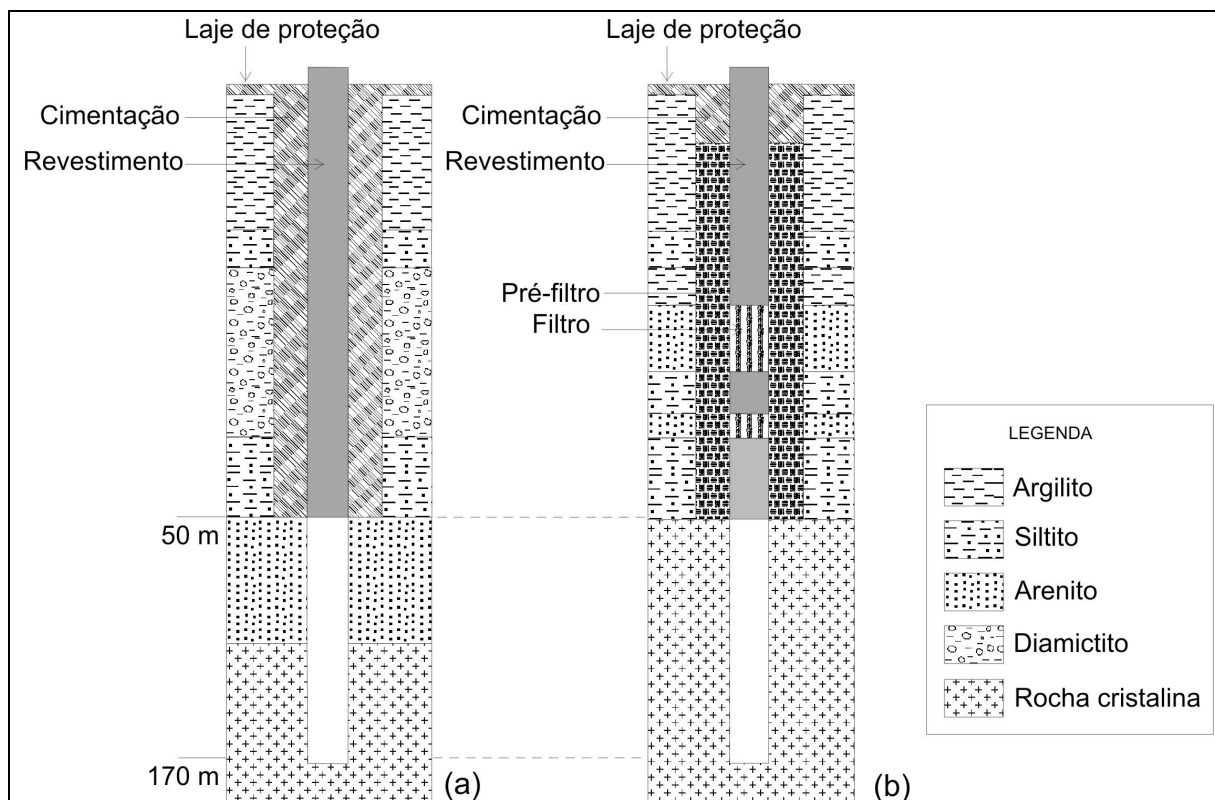


Figura 14- Perfis geológico-constructivos típicos dos poços mistos (OBS: as profundidades indicadas correspondem aos valores medianos)

Figure 14- Typical well logs from deep wells exploiting both Tubarão and Crystalline aquifers (OBS: The mentioned depths are related to the mean values)

Os dados de profundidade dos poços mistos não apresentam distribuição definida (Figura 15a), o que possivelmente se deve ao pequeno tamanho da amostra. A profundidade média é de 172 m e a mediana é de 170 m (Tabela 3). O valor mínimo encontrado é 43 m e o máximo 267 m. O desvio padrão é 59,5 m, com coeficiente de variação de 34,5%.

O nível estático apresenta distribuição log-normal (Figura 15b) e o nível dinâmico não apresenta distribuição bem definida (Figura 15c). O nível estático médio é de 21,6 m e o mediano é de 19,5 m (valor mínimo de 2,6 e máximo de 50 m) com desvio padrão de 12,3 m e coeficiente de variação de 57%. Já o nível dinâmico médio é de 103 m e o mediano 98,5 m (valores mínimo e máximo de 36 e 202 m, respectivamente); desvio padrão de 43,13 m e coeficiente de variação de 42% (Tabela 3).

A vazão, assim como nos casos anteriores, apresenta distribuição exponencial (Figura 16a). O valor médio é de aproximadamente 6 m³/h e a mediana é de 3,8 m³/h; o desvio padrão é de 7,6 m³/h e o coeficiente de variação é de aproximadamente 120%. Os valores mínimo e máximo são, respectivamente, 0,5 e 42 m³/h.

A distribuição dos valores de capacidade específica também não é bem definida, podendo ser normal ou log-normal (Figura 16b). Mas, com base nos casos apresentados anteriormente, é possível que a distribuição da Q/s nos poços mistos também seja do tipo log-normal. O valor médio é 0,11 m³/h/m e a mediana fica em torno dos 0,07 m³/h/m, o valor mínimo é de aproximadamente 0,009 m³/h/m e o máximo, 0,68 m³/h/m. O desvio padrão é 0,16 m³/h/m e o coeficiente de variação é 146%.

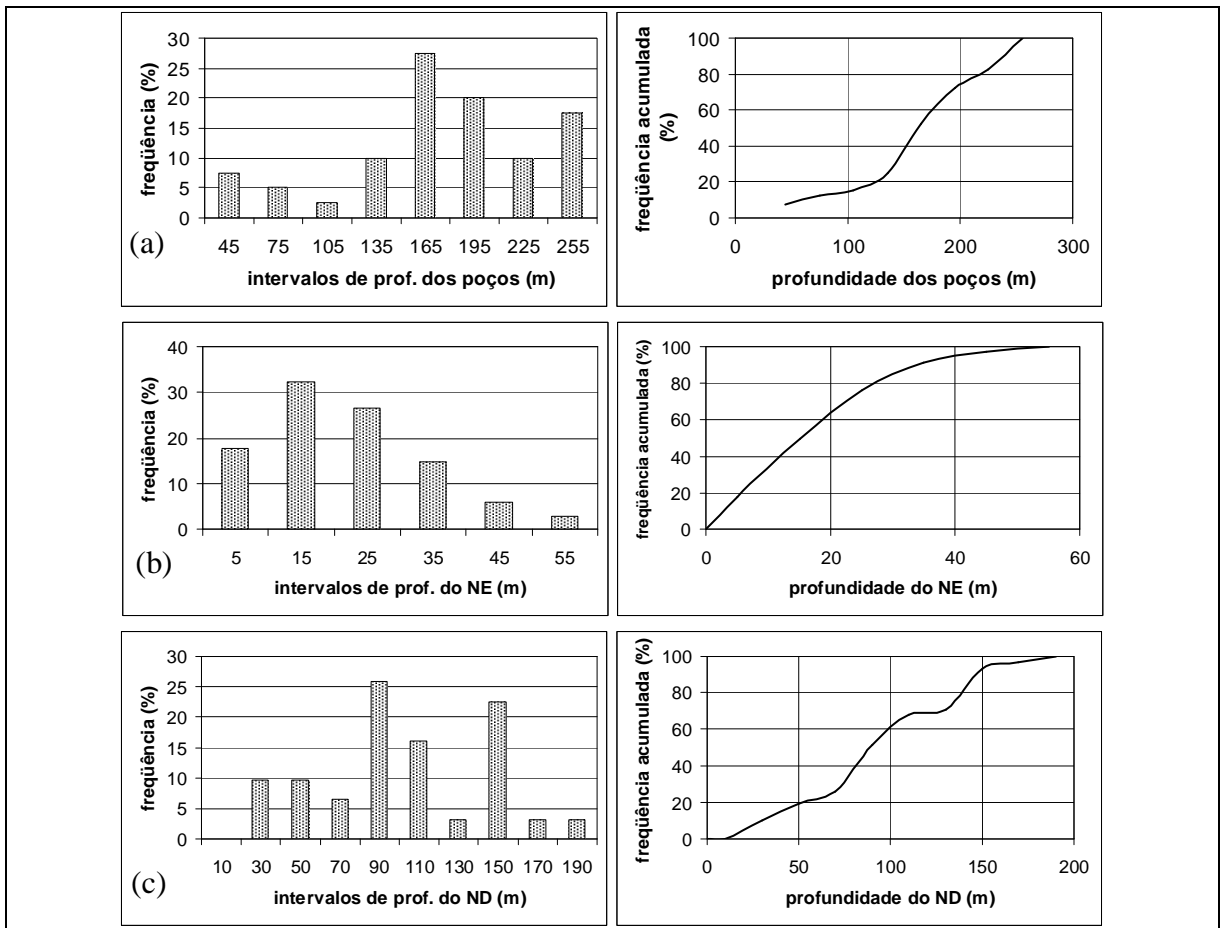


Figura 15- Histograma e diagrama de freqüência acumulada da (a) profundidade dos poços, (b) profundidade do nível estático e (c) profundidade do nível dinâmico dos poços mistos (explotam os sistemas aquíferos Cristalino e Tubarão)

Figure 15- Histogram and accumulated frequency diagram from (a) well depths (b) groundwater static level and (c) depth of the dynamic level from wells that exploit both Tubarão and Crystalline aquifers

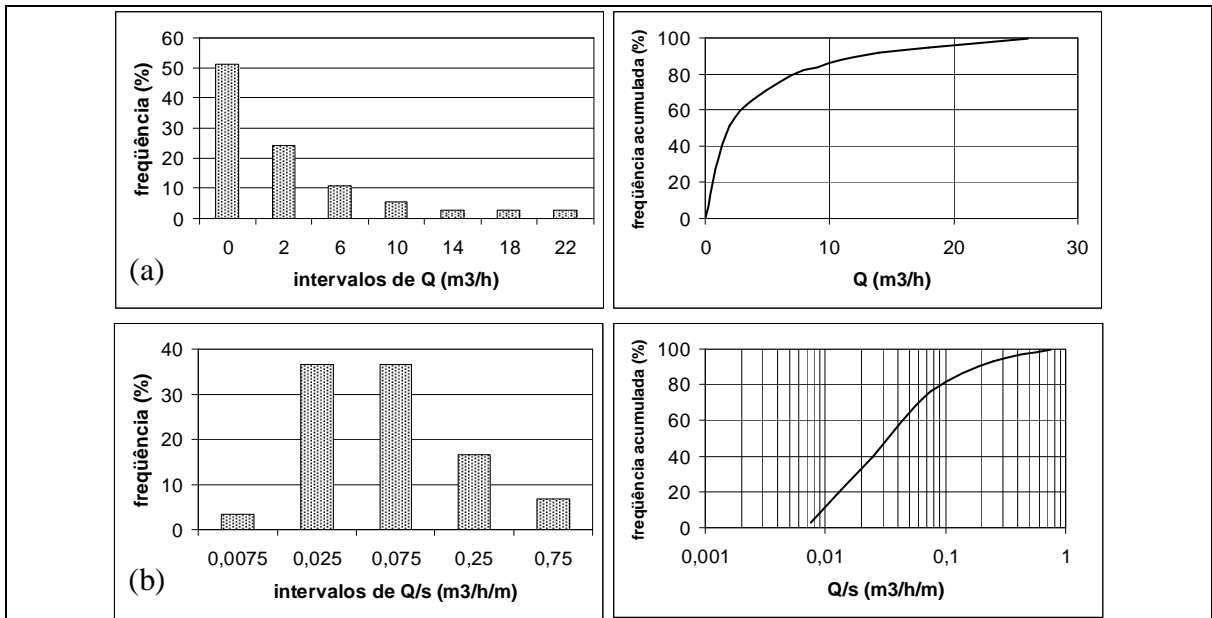


Figura 16- Histograma e diagrama de freqüência acumulada (a) da vazão e (b) da capacidade específica dos poços mistos (explotam os sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino)

Figure 16- Histogram and accumulated frequency diagram of (a) yielding and (b) specific capacity of wells drilled into the both Tubarão and Crystalline aquifers systems

Tabela 3- Parâmetros dos poços mistos (explotam os sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino)

Table 3- Data from wells drilled into both Tubarão and Crystalline aquifers systems

Poços mistos	Média	Mediana	Moda	Desv.pad.	Coef. Var. (%)
Profundidade dos poços (m)	172,21	170,00	150,00	59,46	34,53
Prof. do nível estático (m)	21,65	19,48	12,00	12,30	56,82
Prof. do nível dinâmico (m)	103,07	98,51	#N/D	43,13	41,84
Vazão (m ³ /h)	6,28	3,79	3,00	7,61	121,27
Capacidade específica (m ³ /h/m)	0,11	0,07	#N/D	0,16	145,96

Tendência geral do fluxo da água subterrânea

Embora os aquíferos fraturados sejam heterogêneos e anisotrópicos por natureza, Custodio e Llamas (1996) consideram possível traçar uma superfície potenciométrica virtual, indicando o sentido geral de movimento da água subterrânea (Figura 17).

Com base neste conceito, foi construído o mapa da tendência geral de fluxo da água

subterrânea no Sistema Aquífero Cristalino da bacia do rio Jundiá (Figura 18), no qual são considerados poços que explotam exclusivamente a rocha fraturada. Devido à escala de apresentação do mapa, estão plotados apenas os poços mais representativos. Na tabela 4, são apresentadas as cotas do nível estático (NE) dos poços plotados (em metros acima do nível do mar) e a data de coleta da informação.

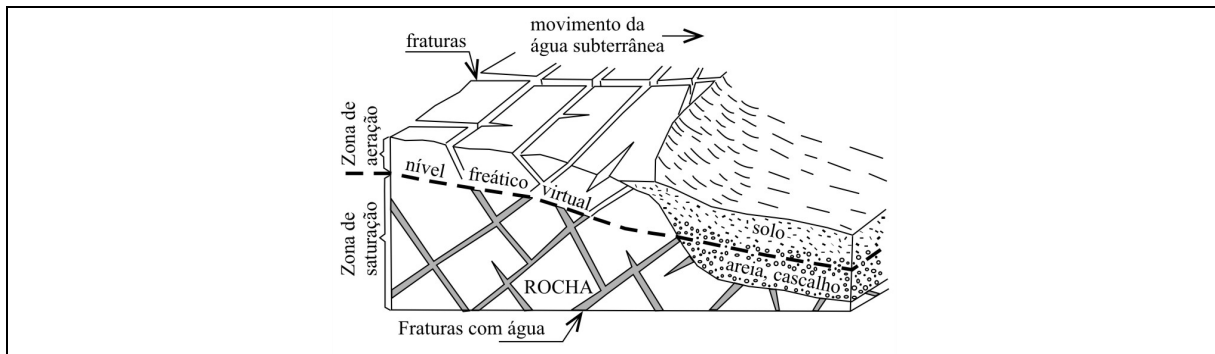


Figura 17- Superfície potenciométrica virtual em um aquífero fraturado (CUSTODIO E LLAMAS, 1996)

Figure 17- Virtual potentiometric surface in a fractured aquifer (CUSTODIO; LLAMAS, 1996)

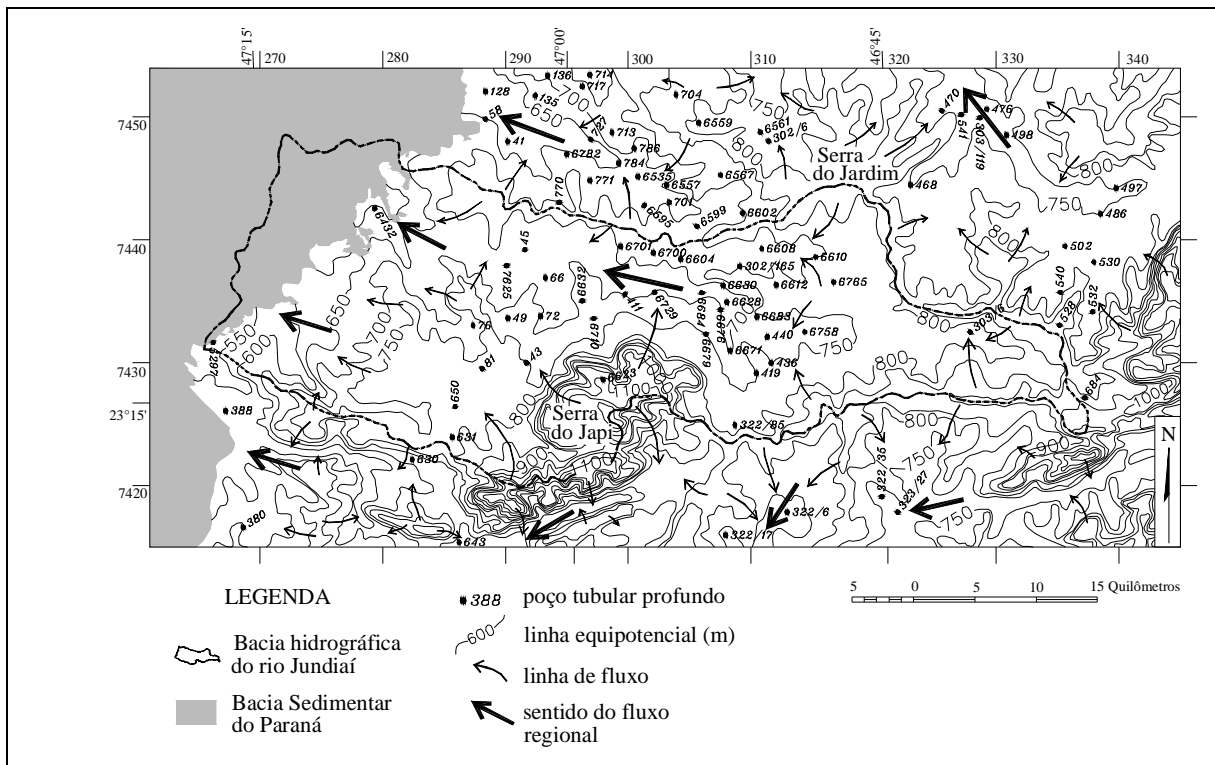


Figura 18- Mapa da tendência geral de fluxo da água subterrânea no Sistema Aquífero Cristalino

Figure 18- General groundwater flow tendency map from the Crystalline aquifer system

Tabela 4- Cota do nível estático (NE) de alguns dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino na bacia do rio Jundiá e adjacências (cotas em metros acima do nível do mar)

Table 4-Static level altitude (a.m.s.l.) measured in wells drilled in the Crystalline aquifer system

POÇO	COTA NE (m)	DATA	POÇO	COTA NE (m)	DATA	POÇO	COTA NE (m)	DATA	POÇO	COTA NE (m)	DATA
323/27	730,00	29/7/1977	6630	704,00	4/6/1970	727	651,00	24/6/1979	468	747,40	25/4/1979
322/85	796,00	8/10/1977	6628	677,00	1/1/1975	717	703,00	24/8/1977	440	704,60	14/9/1977
322/6	728,00	12/3/1979	6623	1104,00	8/10/1974	714	757,00	2/7/1980	436	747,50	12/3/1979
322/35	748,00	1/6/1976	6612	754,00	1/1/1973	713	750,00	15/12/1976	419	750,00	13/4/1980
322/17	747,50	16/8/1979	6610	749,00	11/12/1979	704	780,00	10/7/1979	411	693,00	20/11/1979
303/6	790,00	13/7/1979	6608	737,00	9/10/1979	701	703,67	18/7/1978	388	563,00	24/10/1978
303/119	738,00	3/3/1975	6604	714,00	24/9/1977	684	906,00	5/6/1978	380	650,00	17/7/1978
302/165	751,00	23/2/1978	6602	745,00	21/8/1979	650	775,00	7/8/1980	136	718,00	10/9/1979
7625	664,00	17/12/1977	6599	718,50	16/6/1978	643	605,00	5/8/1979	135	680,00	1/8/1979
6765	778,00	1/11/1977	6595	690,20	15/9/1979	630	681,00	19/8/1978	128	634,00	17/11/1978
6758	742,00	1/1/1977	6567	720,00	3/11/1979	541	746,00	5/2/1979	81	756,00	30/1/1977
6729	700,00	1/10/1972	6561	762,00	17/3/1976	540	795,00	15/4/1976	76	725,00	1/1/1977
6701	705,00	1/4/1974	6559	784,00	11/2/1974	532	785,00	23/5/1977	73	710,00	22/6/1978
6700	714,00	1/3/1971	6557	710,00	1/12/1976	530	749,00	3/5/1978	72	688,00	23/8/1979
6684	698,00	1/1/1976	6535	671,00	8/5/1979	528	882,00	1/2/1979	66	669,00	10/6/1977
6683	712,00	1/5/1978	6432	637,00	10/9/1979	502	775,00	20/10/1975	58	653,00	16/8/1977
6679	732,00	1/7/1975	5297	508,00	1/1/1976	498	746,00	2/4/1979	49	717,00	19/1/1977
6676	700,00	1/11/1977	786	700,00	9/7/1975	497	750,00	28/11/1973	45	660,00	1/1/1973
6671	708,00	1/9/1978	784	656,00	1/1/1972	486	750,00	14/3/1979	44	794,00	7/5/1976
6659	704,00	1/12/1974	771	673,00	29/5/1974	476	743,00	2/6/1975	43	745,00	9/7/1978
6632	713,00	10/2/1978	770	702,60	19/2/1973	470	745,00	14/7/1973	41	631,00	19/7/1978

O mapa apresentado na figura 18 mostra linhas de fluxo que indicam descarga da água subterrânea a partir dos altos topográficos locais em direção aos canais de drenagem e, considerando-se a bacia do rio Jundiá como um todo, há um fluxo regional para oeste, rumo à Bacia Sedimentar do Paraná. Destaca-se que o mapa de fluxo aqui apresentado é de caráter regional, mostrando a tendência geral de escoamento da água subterrânea. Obviamente, em escala local, haverá modificações controladas pela presença de estruturas geológicas favoráveis ao fluxo subterrâneo.

Os interflúvios da bacia do rio Jundiá coincidem com os divisores das águas subterrâneas. Assim, os altos topográficos que delimitam a bacia compõem as zonas de recarga do Sistema Aquífero Cristalino, dentre as quais se destacam a Serra do Japi, a Serra do Jardim e as demais elevações junto às cabeceiras do rio Jundiá.

O papel de algumas estruturas geológicas na configuração do mapa de fluxo é bastante claro, uma vez que elas controlam o escoamento da rede de drenagem superficial e, conseqüentemente, as zonas de descarga. Têm destaque a zona de cisalhamento Jundiuvira e as falhas de Itu, do Piraí, do Cururu e de Cachoeira, além do lineamento NW-SE ao norte da bacia (a partir da Serra do Jardim) (Figuras 18, 2 e 5).

O mapa da tendência geral de fluxo da água subterrânea no Sistema Aquífero Tubarão (Figura 19) também foi traçado com base nas cotas do NE dos poços tubulares profundos, na topografia e na rede de drenagem. Os poços mistos, que exploram ambos os Sistemas Aquíferos, não foram considerados. Na tabela 5, apresenta-se as cotas do NE (em metros acima do nível do mar) dos poços utilizados e a data de obtenção dos dados.

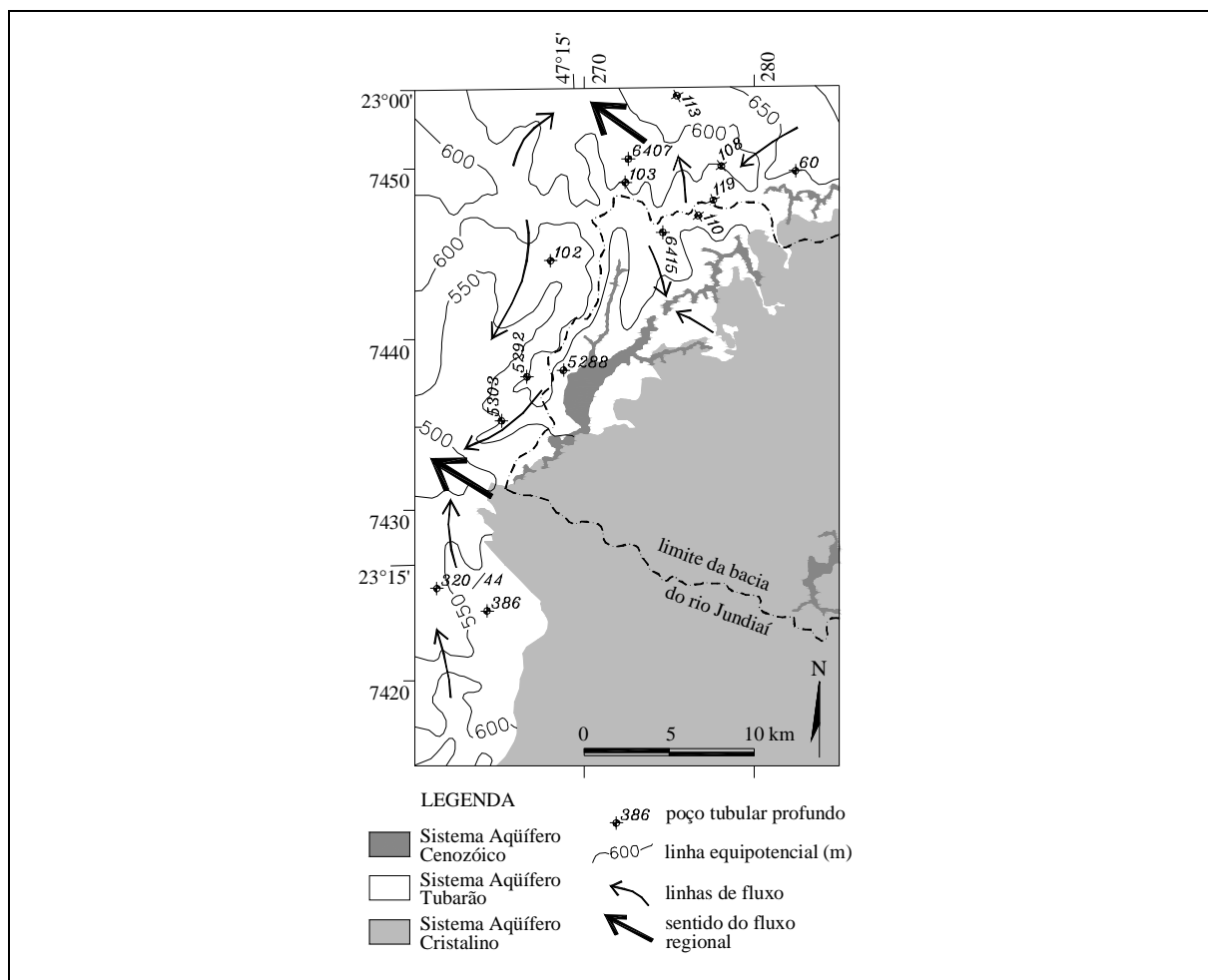


Figura 19- Mapa da tendência geral de fluxo da água subterrânea no Sistema Aquífero Tubarão
 Figure 19- General groundwater flow tendency map from the Tubarão aquifer system

Tabela 5- Cota do nível estático (NE) de alguns dos poços que explotam o Sistema Aquífero Tubarão na bacia do rio Jundiá e adjacências (cotas em metros acima do nível do mar)

Table 5- Static level altitude (a.m.s.l.) measured in wells drilled in the Tubarão aquifer system

POÇO	COTA NE (m)	DATA	POÇO	COTA NE (m)	DATA	POÇO	COTA NE (m)	DATA
320/44	527,37	12/8/1979	102	575,00	6/7/1978	110	606,00	9/4/1976
386	525,00	6/2/1973	103	607,00	6/8/1977	108	600,00	5/9/1978
5303	550,00	1/1/1976	6407	595,00	6/2/1978	119	602,00	8/3/1978
5292	600,00	5/12/1978	6415	610,00	27/1/1977	120	630,00	27/6/1979
5288	585,00	9/1/1974	113	628,00	1/1/1978	60	650,00	9/12/1977

No Sistema Aquífero Tubarão, as equipotenciais também acompanham a superfície do terreno e os divisores de águas subterrâneas coincidem com os de águas superficiais. Há um fluxo local em direção aos rios Jundiá e Tietê e, de forma similar ao Sistema Aquífero Cristalino, o fluxo regional se dirige para noroeste, rumo ao interior da Bacia Sedimentar do Paraná.

Controle estrutural

A existência de descontinuidades abertas é o principal fator que controla o fluxo subterrâneo em terrenos cristalinos e sua origem está intimamente relacionada aos eventos tectônicos que atuaram durante a evolução geológica

regional. Na bacia do rio Jundiá, os poços mais produtivos interceptam descontinuidades abertas, geradas e/ou reativadas por eventos neotectônicos (NEVES, 2005). Tais estruturas ocorrem principalmente ao longo das zonas de cisalhamento e zonas de falhas pré-cambrianas de abrangência regional (Figura 5). Ao longo destas faixas, há concentração de estruturas geológicas rúpteis (falhas e fraturas) com tendência à abertura devido à movimentação tectônica que atuou ali de forma recorrente ao longo do tempo geológico. Maiores detalhes sobre este assunto podem ser consultados em Neves (2005).

Na área de estudos foi identificada, em vários locais, associação entre estruturas rúpteis de

direção NW-SE e outras de direção E-W. Este arranjo estrutural, submetido aos tensores neotectônicos, resulta em esforços transtensivos (com componentes transcorrente e distensiva) que favorecem a formação de descontinuidades abertas. São formados, nestes locais, pequenos grábens onde se instalam bacias deposicionais restritas preenchidas por sedimentos aluviais recentes. Do ponto de vista hidrogeológico, tais depósitos, associados ao conjunto de estruturas abertas, favorecem a recarga local. Conseqüentemente, os poços localizados nestas áreas possuem capacidade específica mediana sempre superior à mediana calculada para o Sistema

Aquífero Cristalino na área como um todo (NEVES, 2005).

Contudo, próximo aos poços produtivos também existem poços com produtividade baixa, que geralmente estão mal localizados em relação às estruturas geológicas. É necessário que eles estejam em posição favorável ao mergulho da estrutura, em profundidade tal que a intercepte em subsuperfície e, ainda, que a direção da estrutura seja propícia à abertura pela atuação dos esforços tectônicos. Um exemplo desta situação é ilustrado na figura 20.

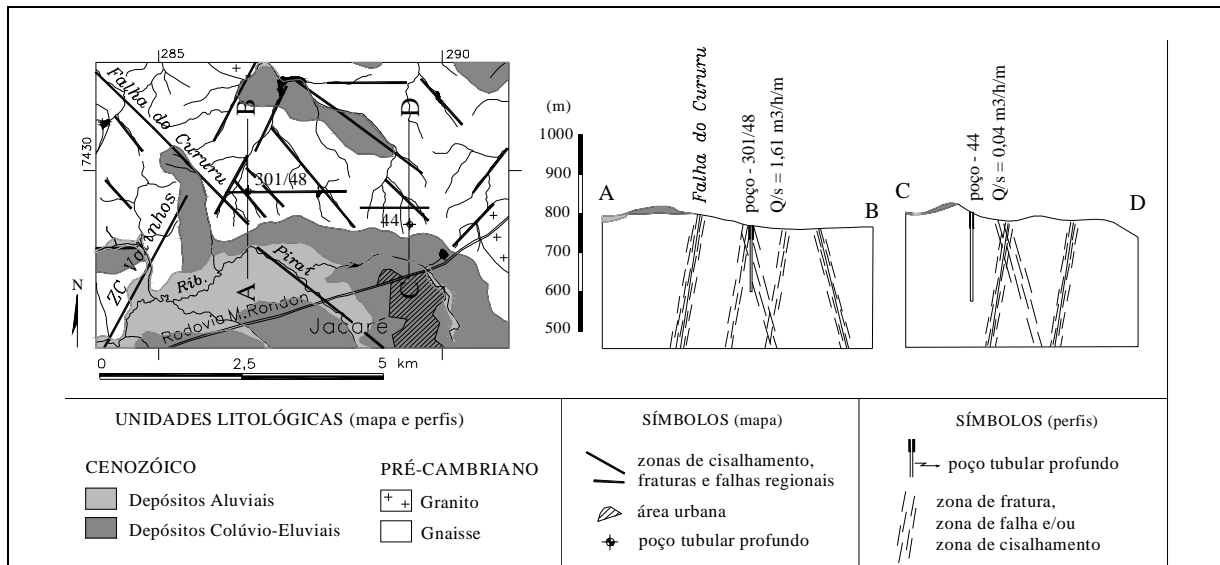


Figura 20- Mapa de detalhe mostrando controle de estruturas NW-SE e E-W em zonas de cisalhamento e de falhas regionais sobre a produtividade dos poços tubulares profundos

Figure 20- Detail map showing the structural control along the directions NW-SE e E-W in strain zones and regional faults on the productivity of deep well

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A heterogeneidade e anisotropia das rochas fraturadas implicam em valores de produtividade extremamente variáveis no Sistema Aquífero Cristalino. No Sistema Aquífero Tubarão, as variações faciológicas, aliada ao fraturamento (que também está presente e interfere no fluxo), o tornam tão heterogêneo e anisotrópico quanto o Cristalino, resultando no mesmo padrão de distribuição de valores. De fato, nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná, em contato com o Embasamento Cristalino, o papel das fraturas e falhas adquire importância relevante no arcabouço litológico.

Em relação à profundidade dos poços, é importante ressaltar que esta variável não está diretamente vinculada à produtividade, pois a obtenção de poços produtivos depende, dentre outros fatores, de sua posição relativa ao

mergulho da zona fraturada (Figura 20). Mas vale observar que os poços mistos tendem a ser mais profundos do que os demais (assim como seus níveis estático e dinâmico) e sua vazão tende a ser menor. Considera-se que, em uma área recoberta por rochas sedimentares, a perfuração só avançará na rocha cristalina se não for obtida produtividade satisfatória no aquífero poroso subjacente. Assim, é possível que estes poços estejam localizados em situações desfavoráveis (sem interceptar descontinuidades abertas em subsuperfície), resultando em poços mais profundos e menos produtivos.

O mapa apresentado na figura 18 mostra que o fluxo regional da água subterrânea se dá a partir do Embasamento Cristalino rumo à Bacia Sedimentar do Paraná. As principais áreas de recarga do Sistema Aquífero Cristalino se situam na região serrana (Serra do Japi e outras elevações associadas).

Porém, o manto de intemperismo dos terrenos cristalinos pode atuar como zona de recarga ao longo de toda sua área de afloramento (CAVALCANTE, 1990). De fato, há também um fluxo local que direciona as águas das partes mais elevadas rumo aos canais de drenagem, acompanhando a topografia do terreno. As linhas equipotenciais se tornam subparalelas a algumas das zonas de falhas e de cisalhamento, evidenciando o controle estrutural sobre a percolação da água subterrânea. O fluxo preferencial ao longo destas zonas é corroborado pela concentração de poços mais produtivos ao longo das mesmas.

É necessário destacar que mesmo os poços “mais produtivos” apresentam produtividade limitada. Este fato, aliado à má qualidade das águas superficiais e às deficiências na gestão dos recursos hídricos, tem trazido problemas de abastecimento público para os municípios da região. A situação é mais grave no lado oeste da área, sujeito a um clima menos úmido do que o restante (Figuras 3 e 4). Embora passem por ali os rios Jundiá e Tietê, que são rios de vazão relativamente alta, ambos não podem ser utilizados por não apresentarem condições de tratamento pelos métodos convencionais.

CONCLUSÕES

Os poços que exploram os sistemas aquíferos Cristalino e Tubarão, bem como os poços mistos, não possuem valores de produtividade muito distintos. Os poços que exploram o Sistema Aquífero Tubarão apresentam vazão mediana de 5,50 m³/h, os que exploram o Sistema Aquífero Cristalino, 4,80 m³/h, e os poços mistos, 3,79 m³/h. A capacidade específica mediana é de 0,09 m³/h/m nos poços do Sistema Aquífero Tubarão e de 0,07 m³/h/m no Cristalino e nos poços mistos.

A distribuição de valores mostra grande variabilidade, a depender da localização dos poços em relação às estruturas geológicas. Os locais mais propícios para a obtenção de poços produtivos são as zonas de cisalhamento e zonas de falhas de abrangência regional. Mas, mesmo ao longo destas faixas, é necessário que os poços estejam locados de forma favorável ao mergulho das estruturas.

O fluxo regional da água subterrânea ocorre de sudeste para noroeste. A partir das áreas de recarga principais representadas pela região serrana, o fluxo subterrâneo se direciona rumo à Bacia Sedimentar do Paraná.

REFERÊNCIAS

- BERTACHINI, A.C. **Estudo das Características Hidrogeológicas dos Terrenos Cristalinos sob Clima Úmido, na região de Jundiaí, em São Paulo.** São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências - USP.
- CAVALCANTE, I.N. **Estudo Hidrogeológico de Terreno Cristalino com Manto de Intemperismo: área piloto de Atibaia (SP).** São Paulo, 1990. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências - USP.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. **Hidrología Subterránea.** 2. ed. Barcelona: Omega, 1996. 2v.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Ground Water and Wellhead Protection.** Washington, 1994.
- HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI C.A. O embasamento pré-cambriano e o eopaleozóico em São Paulo. In: ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. et al.. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000.** São Paulo: IPT, 1981. v. 1, p.12-45. (Monografia 6).
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P. Revisão da litoestratigrafia da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 16, n. 1/2, p. 33-58, 1995.0
- LOPES, M.F.C. **Condições de Ocorrência de Água Subterrânea nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari.** Campinas, 1994. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP.
- NEVES, M.A. **Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiaí (SP).** Rio Claro, 2005. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.
- NEVES, M.A.; MORALES, N.; PEREIRA, S.Y.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Análise das informações disponíveis sobre poços tubulares profundos e seu uso no diagnóstico da variação temporal do nível da água e da produtividade dos aquíferos da bacia do rio Jundiaí (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. 1 CD.
- NEVES, M.A.; MORALES, N.; SAAD, A.R. Facies analysis of Tertiary alluvial fan deposits in the Jundiaí region, São Paulo, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, Columbia, v. 19, n. 4, p. 509-520, 2005.
- NEVES, M.A.; MORALES, N.; BORGES, M.S.; EBERT, H.D. Compartimentação morfotectônica da região de Jundiaí (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 167-176, 2003.
- SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí:** Relatório Zero. Piracicaba, 2000. 1CD.
- SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.** Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 24 mai. 2005.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Área de Proteção Ambiental (APA) Cabreúva e Jundiaí.** Decreto de Regulamentação. Documentos Ambientais. São Paulo, 1998. 11p.
- SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966.
- STEVANUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E.de; TEIXEIRA, J.A.; LANDIM, P.M.B. Sistemas deposicionais do Sub-Grupo Itararé na bacia hidrográfica do baixo rio Capivari, SP: um modelo para prospecção de água subterrânea. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, 1987, São Paulo. **Atas...** São Paulo: SBG-Núcleo São Paulo, 1987. v.1, p. 355-374.
- VIDAL, A.C. **Estudo Hidrogeológico do Aquífero Tubarão na Área de Afloramento da Porção Central do Estado de São Paulo.** Rio Claro, 2002. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.
- WONNACOTT, T.H.; WONNACOTT, R.J. **Introductory Statistics.** 5st ed. New York: John Wiley, 1990. 711 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento para elaboração da tese de doutorado da primeira autora e à Jundsondas Poços Artesianos pelo fornecimento de dados cadastrais.

