

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BAQUIRIVU-GUAÇU NA REGIÃO DE GUARULHOS, SP

Helio Nobile DINIZ¹
Uriel DUARTE²

Resumo

O Gráben do Baquirivu-Guaçu é uma estrutura produzida por esforços tectônicos que afetaram a região de Guarulhos durante o Eo-Cenozóico. Esta estrutura está associada ao Sistema de Rifts do Sudeste Brasileiro.

O Gráben do Baquirivu-Guaçu revelou ser uma importante estrutura armazenadora de água subterrânea e, o sistema de *grabens* e de *horsts* que o compõem foram definidos através do método da interpolação estatística da krigagem obtido com o *software* SURFER versão 5.01, utilizando dados de 206 poços tubulares profundos perfurados na região central, leste e sudeste do Município de Guarulhos.

O potencial hídrico subterrâneo do Gráben do Baquirivu-Guaçu é levantado com a utilização dos dados hidrogeológicos obtidos nos poços cadastrados. As vazões desses poços são divididas em três classes com igual distribuição porcentual, para cada sistema aquífero - sedimentar e cristalino - por meio dos recursos gráficos do *software* SURFER versão 5.01.

Palavras-chave: Gráben do Baquirivu-Guaçu, estrutura tectônica, Guarulhos, bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, água subterrânea, poços tubulares profundos, *software* SURFER versão 5.01.

Abstract

The Baquirivu-Guaçu Graben is a structure produced by tectonic stresses that affected the Guarulhos region during the Eo-Cenozoic Time. This structure is associated with the Southeastern Brazilian Rift System.

The Baquirivu-Guaçu Graben is a very important structure for groundwater storage. In this paper, the system of grabens and horsts that compose it were defined through statistical interpolation using the method of kriging and basement surface data.

The groundwater potential of the Baquirivu-Guaçu Graben is estimated using hydrogeological data from 206 borehole logs. The discharge rate is divided in three categories for each one of the system aquifers - sedimentary and crystalline, selected by the classed post resource of the SURFER version 5.01 software.

Keywords: Baquirivu-Guaçu Graben, tectonics stresses, Guarulhos, Baquirivu-Guaçu hydrographic basin, groundwater, borehole, *software* SURFER version 5.01.

1. LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BAQUIRIVU-GUAÇU

A bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu está localizada dentro dos limites dos municípios de Guarulhos e Arujá.

Guarulhos está situado na porção nordeste da Região Metropolitana de São Paulo, sendo um dos 39 municípios que a compõem. Encontra-se posicionado estrategicamente no principal eixo de desenvolvimento do País - São Paulo/Rio de Janeiro. O centro de Guarulhos está situado a 17 km do centro da cidade de São Paulo, razão pela qual o seu território foi escolhido para a implantação de estruturas de impacto regional, como o Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica, Terminal de Tancagem de Combustíveis da Petrobrás, Terminal

1 - Instituto Geológico do Estado de São Paulo
Av. Miguel Stefano, 3900 - Água Funda - CEP 04301-903
São Paulo - SP
FAX: (011) 276-8572

2 - Instituto de Geociências da USP
Rua do Lago, 562 - Cidade Universitária - CEP 05508-900
São Paulo - SP
FAX: (011) 818-4226

Intermodal de Cargas Leste e Terminal de Abastecimento Geral. O Município é cortado por três rodovias com pistas duplicadas: Ayrton Senna, Presidente Dutra e Fernão Dias.

A bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu pertence à unidade hidrográfica do Alto Tietê. Situa-se entre as latitudes 46° 15' e 46° 30' W e os paralelos 23° 20' e 23° 30' S.

O Rio Baquirivu-Guaçu nasce em Arujá, nos contrafortes da Serra da Cantareira, na região denominada Jardim do Trevo, ainda caracterizada por vegetação nativa. Atravessa a região central, urbanizada, do Município de Arujá, onde é inteiramente canalizado numa extensão de 3 km. Percorre o Município de Guarulhos, numa extensão aproximada de 21 km, passando pelos bairros de Sadokim, Bonsucesso, Lavras, São João, Invernada, Bananal, Taboão, Vila Barros, Cecap e Várzea do Palácio, indo desaguar na margem direita do Rio Tietê.

No mapa da Figura 1, encontra-se a localização das principais drenagens, rodovias, Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica e centros urbanos da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu e entorno.

2. ASPECTOS GERAIS DA OCUPAÇÃO

O uso da terra, na área do bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, é bastante diversificado em função das características peculiares da área, tais como: proximidade da Capital do Estado e localização do Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica, da Zona Industrial de Guarulhos e da Rodovia Presidente Dutra. Assim, nas margens do Rio Baquirivu-Guaçu encontram-se desde residências de nível médio a baixo, favelas, variados tipos de indústrias, pequenas propriedades rurais e o Aeroporto.

O Rio Baquirivu-Guaçu corta a região de Cumbica e de Bonsucesso, em Guarulhos. A região de Cumbica é ocupada pelo Parque Industrial e por grandes empresas transportadoras de carga. A região de Bonsucesso possui uma pequena concentração industrial e urbana, coexistindo com reduzidas áreas de atividade agrícola e vegetação remanescente (capoeiras).

O percurso do Rio Baquirivu-Guaçu, em torno do Aeroporto Internacional, foi retificado e canalizado quando da implantação do Aeroporto em 1983, tendo sido soterrados seus meandros. Isto provocou uma diminuição da extensão original em aproximadamente 3 km.

A implantação do Aeroporto alterou a drenagem do Rio Baquirivu-Guaçu no local, que passou de um regime de baixa para um de alta velocidade de escoamento com significativo aumento do *runoff*.

3. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E CLIMÁTICAS

A área da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu situa-se no contexto geomorfológico da Província do Planalto Atlântico, definida por Almeida (1964) e detalhada por Ponçano *et al.* (1981). Predomina na região a Zona do Planalto Paulistano (Subzona Colinas de São Paulo) e a Zona Serrania de São Roque, ocorrendo subordinadamente a Zona Médio Vale do Paraíba (Subzona Morros Cristalinos).

O relevo é relativamente plano no centro e sul da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, nos locais de ocorrências dos depósitos da Bacia Sedimentar de São Paulo. É bastante acidentado, com elevações expressivas, na parte norte da bacia, nas serras do Itaberaba e do Bananal, onde afloram rochas metassedimentares, metavulcânicas, graníticas e granodioríticas.

As serras e morros sustentados por metassedimentos e metabasitos têm altitude variável, entre 750 e 1.200 m, enquanto o topo dos depósitos sedimentares estão situados em altitudes entre 720 e 820 m.

Em toda a extensão, o Rio Baquirivu-Guaçu situa-se numa planície aluvial de compartimentação do Planalto, embutida num sistema de colinas, sendo o nível médio mais elevado, situado entre as cotas 800-820 m e o nível das planícies aluviais, submersíveis, entre as cotas 720-722 m.

Na região da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, nas planícies aluviais, havia outrora um cinturão meândrico, sujeito a cheias anuais e inundações periódicas. Possuía largura variável entre 200 e 400 m. Em cada lado do leito do rio havia pântanos ribeirinhos, e várzeas onde predominavam solos hidromórficos, fortemente orgânicos (Ab'Saber 1977). Nesses pântanos foram construídas inúmeras cavas de extração de argila para fabricação de tijolos e areia, destinada à construção civil. Hoje parte dessas várzeas ainda estão preservadas nas áreas situadas antes do rio alcançar o Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica. Na área do Aeroporto e à frente os pântanos foram aterrados e o rio canalizado.

A precipitação média anual na bacia é cerca de 1400 mm/ano e a temperatura média anual é de aproximadamente 18° C. A evaporação potencial média situa-se ao redor de 850 mm/ano. O clima é classificado segundo Köpen em Cwb, das savanas dos altiplanos continentais, com verão moderado (DAEE 1975a,b).

A nascente do Rio Baquirivu-Guaçu, no Jardim do Trevo, em Arujá tem altitude aproximada de 790 m. A sua foz, na Várzea do Palácio, em Guarulhos, encontra-se na cota 724 m. A diferença entre estas altitudes (66m), dividida por um percurso aproximado de 38 km, resulta num gradiente médio de 1,73 m/km.

4. A TECTÔNICA DO GRÁBEN DO BAQUIRIVU-GUAÇU

Na área da várzea do Rio Baquirivu-Guaçu, toda a Bacia Sedimentar de São Paulo tem uma origem tectônica de forma bastante marcante, produzida por remobilização de grandes falhamentos transcorrentes de direção preferencial ENE, por falhamentos normais de extensão regional com ângulo de mergulho de 60° e por falhas de cavalgamento, afetando antigas zonas de falhas transcorrentes. Toda a região é extremamente cizalhada, sendo comum abaixo do pacote sedimentar, espesso manto de alteração das rochas do embasamento e abaixo dele, zonas cataclásticas extensas, nem sempre produtivas do ponto de vista hidrogeológico, mas com halo de alteração intenso contendo zonas argilosas dentro dos maciços granítico-gnaissícos.

Nos maciços graníticos-gnaissícos foram detectadas (em sondagens realizadas para captação de água subterrânea) zonas de cizalhamento, apresentando fraturas abertas mesmo em grandes profundidades (abaixo de 400 m a partir da superfície do terreno) que possibilitam armazenamento importante de

água subterrânea.

Duas importantes estruturas tectônicas cortam a bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, em Guarulhos. A primeira é formada pela Falha do Rio Jaguari, de caráter normal e direção E-NE, que intercepta a bacia na parte norte do Aeroporto Internacional de São Paulo e condiciona a drenagem autóctone do Rio Baquirivu-Guaçu. A segunda estrutura, quiza mais importante sob o aspecto hidrogeológico, é posterior à primeira e secciona toda a bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, segundo a direção NE-SW. Esta última estrutura, provocada por esforços tectônicos compressivos é formada por *grabens* e *horsts* sucessivos, em blocos com a forma quadrática, com extensão variável, de poucas dezenas de metros até 4 km de extensão. Os *grabens* se encontram atulhados de sedimentos, quase sempre grossos, com grãos angulosos e mineralogicamente imaturos, que refletem a rapidez do evento deposicional e a proximidade da área fonte. Esta feição tectônica é posterior à Falha do Rio Jaguari e foi ativa provavelmente durante o Oligoceno. Constitui o Gráben do Baquirivu-Guaçu.

As porções, onde o maciço rochoso do embasamento pré-Grupo São Roque foi soerguido, encontram-se extremamente cizalhadas, com alteração intempérica profunda. O relevo colinoso atual, modelado sobre rochas altamente intemperizadas, não mostra as estruturas derivadas da intensa atividade tectônica. Nos locais onde o embasamento é coberto pelos sedimentos, o manto de alteração pretérito é pouco espesso, ao contrário de outras partes da Bacia Sedimentar, evidenciando o decapeamento sofrido pelas corridas de detritos gravitacionais, induzidas pelas súbitas mudanças no gradiente topográfico causado pela movimentação tectônica.

Embora o Gráben do Baquirivu-Guaçu tenha sido reconhecido anteriormente (Mariano & Silveira 1984, Riccomini & Coimbra 1992), a sua definição somente foi possível nesta pesquisa, empregando-se o método estatístico da krigagem nos dados obtidos nas sondagens executadas pelas empresas perfuradoras para a construção de poços tubulares profundos na bacia do Rio Baquirivu-Guaçu. Os dados utilizados nesta determinação foram: profundidade do embasamento cristalino, espessura do manto de alteração, vazões dos poços tubulares profundos e espessura do pacote sedimentar.

Os poços cadastrados foram plotados em um malha regular, utilizando as coordenadas UTM obtidas em mapas na escala 1:10.000 da região de Guarulhos e Arujá. Foram plotados cerca de 206 poços que possuíam dados construtivos, geológicos e hidrogeológicos. Na Figura 2 encontra-se o mapa geológico simplificado da área da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu com a localização dos poços cadastrados.

Os métodos para a determinação da estrutura do Gráben do Baquirivu-Guaçu constaram de:

(1) na planilha do *software* SURFER versão 5.01, da Golden Software, foram plotados as cotas do topo do embasamento cristalino obtido nos 206 poços cadastrados e as suas coordenadas UTM Norte-Sul e Este-Oeste, em km;

(2) através do *software* SURFER 5.01, com estes três parâmetros determinados e utilizando o método de interpolação por krigagem, considerando a média para pontos de amostragem superpostos (poços situados próximos) e simetria nas direções de interpolação, foram obtidas isolinhas das cotas do topo do embasamento cristalino;

(3) o mapa obtido (Figura 3) deixa bem delineada a estrutura que compõe o Gráben do Baquirivu-Guaçu, que mostra blocos altos e baixos, em seqüência, obedecendo à

direção preferencial N45E.

O reconhecimento do Gráben do Baquirivu-Guaçu permitiu a utilização de um outro método de interpolação do *software* SURFER 5.01. Neste método, ao invés de se utilizar simetria nas direções de interpolação através do método da krigagem, aumenta-se a pesquisa na direção N45E, que é a direção da estrutura reconhecida. Desta forma, e utilizando uma malha regular obteve-se o mapa de superfície da Figura 4. Neste mapa, os *grabens* e *horsts* foram orientados na direção N45E e, provavelmente representam melhor a realidade estrutural da bacia sedimentar.

O Gráben do Baquirivu-Guaçu é composto por uma sucessão de blocos altos e baixos, interceptados por falhas. Na área do Rio Baquirivu-Guaçu, o gráben tem início na altura do Parque Ecológico do Tietê, entre a Rodovia Presidente Dutra e a Rodovia Ayrton Senna (bloco baixo), seguindo na direção da ligação Rodovia Ayrton Senna-Aeroporto de Cumbica (bloco alto) e pelo Parque Industrial de Cumbica (bloco baixo), ao sul do Aeroporto, prolonga-se na direção nordeste, entre a Rodovia Presidente Dutra e a Zona Industrial de Cumbica (bloco alto), altura do córrego Cocho Velho. Nesse local, o gráben subdivide-se em dois ramais.

Um dos ramais segue na direção norte-nordeste pelo Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica, Bairro Ponte Alta e Estrada da Capuava (ambos na altura do ribeirão da Lavra), Jardim Álamo e Golf Club de Arujá (ambos situados próximo do ribeirão Guaraçau). O outro segue em direção nordeste pelo Bairro Bonsucesso, Jardim Nova Bonsucesso (onde está situado o talvegue do Rio Baquirivu-Guaçu) e termina no Bairro Vila Carmela II (situado próximo do ribeirão Guaraçau). Entre os dois ramais, constituídos pelos blocos rebaixados, estão situados os blocos altos, soerguidos pelos esforços tectônicos que afetaram a região, provavelmente durante o Oligoceno.

As estruturas em *grabens* e *horsts* resultantes dos esforços tectônicos que produziram o Gráben do Baquirivu-Guaçu, são mostradas na secção geológica A-A' (Figura 5). Esta secção, cuja localização se encontra na Figura 2, foi construída com base na descrição dos perfis de poços situados até 500 m, em ambos os lados, do eixo A-A'. Tem início a sudoeste, no município de São Paulo, no Parque Ecológico do Tietê, atravessa a rodovia Ayrton Senna, segue pelo Parque Industrial de Cumbica, Jardim Maria Dirce (na altura do Córrego Cocho Velho), Rodovia Presidente Dutra, Bairro Bonsucesso (na altura do Rio Baquirivu-Guaçu), Jardim Nova Bonsucesso e, termina a nordeste do município de Guarulhos, no Bairro Vila Carmela II.

5. AS ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO

Na região da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, o embasamento cristalino é essencialmente formado por duas unidades geológicas, separadas uma da outra pela falha do Rio Jaguari. O conjunto situado ao norte foi denominado de Grupo São Roque (Coutinho 1972) e, posteriormente subdividido em Grupo São Roque e Grupo Serra do Itaberaba por Juliani *et al.* (1986). O conjunto situado ao sul foi denominado de Complexo Embu (Hasui & Sadowski 1976) e, juntamente com o Complexo Pilar, compõem o Grupo Açungui.

Os depósitos sedimentares do Gráben do Baquirivu-

Guaçu estão assentados quase que exclusivamente sobre o Complexo Embu. Esta unidade foi definida por Hasui & Sadowski (1976), como sendo formada por migmatitos e gnaisses migmatizados, gerados pelo metamorfismo em alto grau dos metassedimentos que compõem o Grupo Açungui.

Segundo Janasi & Ulbrich (1985), as rochas graníticas, granulíticas e gnaissicas que ocorrem na parte norte da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu pertencem à suíte Cantareira, no Domínio São Roque, de colocação sin-tectônica. São compostas essencialmente por biotita granitos a granodioritos, com titânita, allanita e magnesita como minerais acessórios principais. Possuem faciologia predominantemente porfiróide, com enclaves microgranulares e gnáissicos. Foram datados pelo método K-Ar, entre 500 e 540 Ma. (Pré-Cambriano Superior).

Estes granitos são quase sempre foliados em maior ou menor grau formando até granitos-gnaisses. No contato com os metamorfitos, observa-se fenômenos de metamorfismo termal e deformações intensas que os caracterizam como corpos intrusivos. Nesses locais é comum a transformação dos metassedimentos e anfibolitos em hornfels com presença de biotita e recristalização das sericitas (Juliani & Beljavskis 1983). Em algumas áreas são reconhecidos restos de metassedimentos e anfibolitos como tetos pendentes.

O Grupo São Roque ocupa a parte norte, nordeste e noroeste da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu. Em geral, seus litotipos são constituídos por filitos sericíticos, sericita xistos muito finos e filitos grafitosos. Ocorrem próximos ao contato da Falha do Rio Jaguari, que é uma continuação da secção nordeste da Falha de Taxaquara, possuindo cores creme-alaranjado, róseos ou avermelhados, quando alterados e cinza-claro, na rocha sã. São laminados ou bandados por leitos mais sericíticos ou silticos, variando para termos como meta siltito sericítico, xisto fino ou ritmito. São interpretados como metassedimentos originados em uma bacia rasa, provavelmente em ambiente plataformar, em parte depositada sobre uma seqüência vulcano-sedimentar, durante o Pré-Cambriano Superior (Juliani 1993).

De maneira geral, nos poços perfurados no Gráben do Baquirivu-Guaçu, que atingem o embasamento cristalino, quase invariavelmente, foram descritas rochas gnaissicas com grande quantidade de biotita finamente cristalizada, anfibólios, feldspato potássico, plagioclásio e quartzo, sugerindo a predominância de biotita gnaisses do Complexo Embu, nas rochas cristalinas, situadas abaixo dos sedimentos Terciários e Quaternários da Bacia de São Paulo.

Na região da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu a alteração intempérica atinge todas as rochas do embasamento cristalino, em menor ou maior grau.

Leinz (1955) observou que as rochas cristalinas no contexto da Bacia de São Paulo encontram-se alteradas em 3 estágios e, para os gnaisses e granitos descreve-os da maneira seguinte:

- no primeiro estágio ocorre solo superficial cinza-escuro passando a cinza-amarelado e a uma camada argilo-arenosa vermelho-amarelada. A rocha encontra-se totalmente alterada, sem vestígios das estruturas originais, e a espessura desse manto pode atingir de poucos centímetros até 20 m;

- no segundo estágio a rocha possui geralmente a cor cinza-creme, os feldspatos e as biotitas encontram-se alterados, mas a textura e a estrutura estão preservadas. Essa camada pode atingir até 20 m de espessura. A rocha alterada é de consistência mole;

- no terceiro estágio a alteração é muito incipiente, os feldspatos encontram-se sem brilho e a biotita ligeiramente alterada, pálida. A resistência da rocha é aproximadamente igual à da rocha fresca. A espessura dessa zona pode exceder os 40 m.

Leinz (1955) observou que o manto de alteração é mais profundo nos locais de cotas mais elevadas. Observou, também, que a alteração está limitada ao nível de base dos rios que cortam a bacia.

Leinz (1955) atribuiu a alteração das rochas até o nível de base dos rios, à maior mobilidade das águas subterrâneas até essa profundidade, o que possibilita a renovação do gás carbônico dissolvido na águas pluviais infiltradas, responsável pela dissociação dos íons H^+ e HCO_3^- , segundo a reação: $H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$. Estes íons dissolvidos proporcionam o ataque químico aos minerais instáveis pelo ácido carbônico, em equilíbrio com os íons na reação: $H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3$.

Assim, abaixo da cota do nível de base dos rios não deve ser encontrada rocha alterada pelos processos intempéricos atuais.

Na área do Rio Baquirivu-Guaçu, a cota mais baixa do nível de base dos rios é de aproximadamente 725 m. Desta forma, é até esta cota que se espera encontrar rocha alterada. A presença de rocha alterada abaixo deste datum, recoberta ou não por sedimentos, é um forte indício de abatimento de blocos sob condições de esforços tectônicos e, quanto maior a espessura da zona de alteração encontrada, maior a altitude da rocha original.

Na bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu é descrita com freqüência, nos perfis de sondagens utilizadas para a construção dos poços tubulares profundos, rocha sob diversos graus de alteração sob a capa sedimentar terciária e muito abaixo do nível de base dos rios atuais. Em alguns perfis foram descritas até na cota 600 m. Este fator registra a forte tectônica que afetou a região da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, durante o Terciário.

Não foram descritos vestígios de paleosolos nas zonas de rochas alteradas situadas abaixo do nível de base dos rios e recobertas por sedimentos. Supõe-se que os fatores erosivos acentuados pela tectônica tenha removido e transportado este material.

6. AS ROCHAS SEDIMENTARES DA BACIA DE SÃO PAULO

Os sedimentos da região da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu inserem-se, regionalmente, na Bacia Sedimentar de São Paulo (Riccomini 1989). Pertencem a uma continuação da Bacia de São Paulo, na sua parte nordeste.

A Bacia Sedimentar de São Paulo faz parte do conjunto de bacias tafrogênicas do Sistema de Rifts da Serra do Mar, que se desenvolveram a partir do final do período Jurássico no sudeste do Brasil. O *rift* segue aproximadamente a linha de costa atual, distando em média 70 km ao longo de 900 km de extensão (Riccomini & Coimbra 1992).

A área geográfica da Bacia de São Paulo expõe terrenos do Pré-Cambriano, sedimentos de idade terciária e cobertura aluvial quaternária. A principal fase de sedimentação dos depósitos que preenchem a Bacia de São Paulo ocorreu no Oligoceno. Os sedimentos continentais terciários ocupam área irregular.

Na área do Gráben do Baquirivu-Guaçu a borda norte

da Bacia é retilínea, com mergulho acentuado, delimitada pelos falhamentos Taxaquara-Jaguari, ao passo que a borda sul tem mergulho suave e limites irregulares.

Na concepção atual (Riccomini 1989, Riccomini & Coimbra 1992), o quadro litoestratigráfico para os depósitos sedimentares continentais terciários da Bacia de São Paulo compreende as formações Resende, Tremembé e São Paulo englobadas no Grupo Taubaté, na base e, no topo, colocada de forma discordante, a Formação Itaquaquecetuba.

Recobrimo este pacote sedimentar Terciário, ocorrem aluviões de drenagem de idade Quaternária. Estas aluviões são constituídas, predominantemente, por camadas de areias argilosas finas e médias de cores cinza e amarelada e argilas siltosas pouco arenosas de cor variegada. São capeadas por uma camada de argila orgânica, às vezes pouco siltosa e pouco arenosa, cinza-escura a preta, com consistência muito mole. As espessuras variam de poucos centímetros até cerca de 6m.

Sobrepondo-se à camada de argila orgânica, por vezes ocorre uma camada de argila contendo areia fina e restos de vegetais, marrom e cinza-escuro, de consistência muito mole a mole e com espessura variável que pode chegar a um máximo de 8m.

Embora a Formação Itaquaquecetuba não tenha sido encontrada aflorante na área da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, estes sedimentos foram identificados em suas imediações (Melo *et al.* 1985), como no vale do Rio Parateí e em Itaquaquecetuba. Frente a esta proximidade, não se pode descartar a possibilidade de também ocorrerem no Gráben do Baquirivu-Guaçu, em subsuperfície.

Na base dos sedimentos aluvionares quaternários que recobrem quase toda a extensão da Bacia Sedimentar de São Paulo, em Guarulhos, ocorrem sedimentos terciários que são correlacionados à Formação Resende, do Grupo Taubaté (Riccomini & Coimbra 1992).

A designação Formação Resende foi emprestada da bacia homônima, onde está localizada a sua seção-tipo (Amador 1975, Riccomini 1989). Segundo Riccomini & Coimbra (1992), ela encerra depósitos fanglomeráticos (leques aluviais) que gradam para depósitos relacionados à planície aluvial de rios entrelaçados (*braided*). O sistema *braided* é formado por depósitos de carga de fundo e pontas de barras de rios anastomosados, de granulometria grossa. Segundo Driscoll (1989), o sistema *braided* confere alta permeabilidade e porosidade aos depósitos sedimentares.

7. DADOS DOS PERFIS DOS POÇOS CADASTRADOS

Dos 206 poços cadastrados na bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, cerca de 108 poços apresentavam perfis com descrição geológica elaborada por geólogo ou hidrogeólogo.

Na seção sedimentar, os perfis geralmente descrevem uma argila siltosa ou arenosa, a partir da cota do terreno até 8-12 metros de profundidade, de cor castanha, amarelo-amarronzada ou vermelho- amarelada. No topo pode ocorrer, ou não, uma argila com matéria orgânica, cor preta ou cinza-escuro, com espessura variável entre 2 e 8 m. Correspondem a aluviões de drenagem.

Nos poços perfurados próximo das bordas da bacia sedimentar surge, entre 8-12 m. até cerca de 80-100 m. de profundidade, uma seqüência de camadas argilosas, cor creme-esbranquiçado, plástica, mole, passando com a profundidade a ter cor cinza-esverdeado, tornando-se rija e dura, geralmente

intercalada por camadas lenticulares de areia argilosa ou de areia grossa, de poucos metros de espessura, cinza-claro ou cinza-esverdeado, rijas e duras. Correspondem à Formação São Paulo.

Nos locais mais próximos da borda norte da Bacia Sedimentar ou na parte mais baixa do interior do Graben, nos intervalos de profundidade correspondentes a 8-12m e 80-100m, podem ocorrer espessas camadas de areias de finas a grossas, com grãos subarredondados, predominantemente quartzosas, cor hialina ou cinza-esbranquiçado, por vezes cinza-amarelado, de friáveis a compactas. Correspondem à Formação Resende.

Entre 80 m até a profundidade final do pacote sedimentar (que pode superar os 220 m) ocorre uma areia grossa, argilosa, com grãos angulosos feldspáticos, cor cinza-escuro a cinza-esverdeado, rija e dura. Nas partes mais distais do Gráben, neste mesmo intervalo de profundidade, podem ocorrer espessos pacotes de areias quartzosas, mal selecionadas, de finas a grossas, com grãos arredondados, cor hialina ou cinza-claro. São atribuídas à Formação Resende embora possuam características típicas da Formação Itaquaquecetuba.

As areias feldspáticas da base do pacote indicam corridas de detritos em leques aluviais, enquanto as areias quartzosas, indicam predominância de sedimentação fluvial *braided*.

8. HIDROGEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BAQUIRIVU-GUAÇU

Na área da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, cerca de 90 poços dos 206 poços cadastrados captam água no sistema aquífero sedimentar. Sem exceção, esses poços foram totalmente revestidos com tubos lisos e de filtros até a profundidade final ou até atingir rocha cristalina sã. Cerca de 98 poços captam água no sistema aquífero cristalino e outros 18 no sedimentar/cristalino (poços mistos).

O sistema aquífero cristalino apresentou vários poços secos e uma vazão máxima de 25 m³/h. É um sistema aquífero que se caracteriza pela extrema heterogeneidade e baixas vazões. As melhores entradas de água situam-se entre 150 e 210 m. A profundidade média dos poços é de 200 m.

No sistema aquífero sedimentar, os poços apresentam uma dispersão maior que os do aquífero cristalino no que se refere às profundidades perfuradas, conseqüência da variação de espessuras do pacote sedimentar. A profundidade máxima encontrada foi de 220 m e a média de 130 m. Em geral são revestidos com tubos lisos, filtros e pré-filtro, que são necessários para sustentar as paredes do poço e reter as partículas da formação.

Os poços do aquífero sedimentar são bem mais produtivos que os poços do aquífero cristalino e, fornecem em média 25 m³/h. As vazões também possuem uma dispersão maior, frente às características de espessura, permeabilidade e porosidade das camadas aquíferas, bastante variadas. Quanto aos níveis piezométricos e dinâmicos, geralmente são bem profundos devido aos rebaixamentos causados pela exploração excessiva e deficiente recarga natural.

A disposição dos tubos de filtros, colocados onde estão situadas as camadas aquíferas, geralmente tem início nas profundidades entre 60 e 80 m e término entre 120 e 150 m. Entre os dois valores extremos de profundidades estão situadas as camadas arenosas mais permeáveis.

9. HIDRODINÂMICA DOS AQUÍFEROS DA BACIA DO RIO BAQUIRIVU-GUAÇU

Os parâmetros hidrodinâmicos que caracterizam os aquíferos quanto às suas propriedades físicas de velocidade de escoamento, velocidade de escoamento por espessura do aquífero e quantidade de água acumulada são, respectivamente; a Condutividade Hidráulica, a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento. Estes parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos podem ser calculados quando se dispõem de ensaios de bombeamento em poços.

Normalmente as empresas de perfuração realizam testes de vazão após o término da construção dos poços para fins de dimensionar o equipamento de extração de água. Nesses testes de vazão são medidos: o nível estático (nível piezométrico do aquífero), os valores de rebaixamento do nível d'água em função do tempo de bombeamento, as vazões e a recuperação do nível d'água após cessado o bombeamento. Eventualmente são realizados testes de vazão escalonados, com vazões variáveis.

A partir da interpretação criteriosa dos dados dos testes de vazão, pode-se calcular a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento do aquífero sedimentar, segundo Theis (1935) e Hantush (1956).

Para a caracterização espacial e temporal das componentes hidrodinâmicas dos aquíferos sedimentar e cristalino foram interpretados os testes de vazão realizados em alguns dos poços e recuperados durante a fase de cadastramento, junto aos usuários e às empresas perfuradoras.

O Coeficiente de Armazenamento de uma camada aquífera é caracterizado pelo volume de água despreendido ou armazenado como resultado de uma mudança de pressão unitária ou mudança de uma unidade do potencial hidráulico (Kovács 1981).

Rebouças *et al.* (1994) interpretaram testes de bombeamento realizados em poços perfurados em sedimentos da Bacia de São Paulo, no Campus da USP, e obtiveram valores de condutividade hidráulica variáveis entre 3.10^{-3} e 7.10^{-4} cm/s. Os coeficientes de porosidade efetiva variam entre 2 e 15%, com valor médio de 6%, indicando condições de aquífero livre.

Na área da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, o sistema aquífero sedimentar tem comportamento predominantemente livre. Foram obtidos os valores de Transmissividade com precisão, segundo critérios apropriados, pois a ausência de poços de observação pode introduzir erros nos cálculos. Em geral os testes de vazão que foram conduzidos de forma apropriada, isto é; realizados com vazão de extração constante ou com pouca variação, com medidas de rebaixamento de 24h, recuperação de 3h e escalonados com medidas de níveis correspondentes a três vazões diferentes.

Para os aquíferos sedimentares, livres, duas aproximações devem ser levadas em conta quando se calcula o Coeficiente de Armazenamento: uma provocada pela ausência do poço de observação e outra devido às mudanças na espessura saturada/insaturada das camadas aquíferas durante o bombeamento.

Para a interpretação dos testes de vazão neste trabalho, foi utilizado o *software* EXCEL 5.0, através de uma planilha contendo os dados identificadores do poço e os valores de tempo, rebaixamento e vazões do teste dispostos em colunas, assim como os valores de tempo de recuperação e níveis correspondentes. Nas representações gráficas do modelo de Theis e Hantush, as Equações de Theis e Hantush foram

transformadas em matrizes (curvas teóricas), usando os recursos do *software* ORIGIN versão 3.5.

A avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos segundo os modelos propostos, permitiu definir as características hidráulicas dos aquíferos na bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.

O poço da Warner Lambert situado no Bairro Taboão apresentou vazão de 37,2 m³/h, Transmissividade de 4,7 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 5.10^{-3} . Este poço possui um comportamento hidráulico muito semelhante aos poços do Aeroporto Internacional de São Paulo, cujas vazões variaram entre 30 e 56 m³/h, Transmissividade entre 2,8 e 6,1 m²/h e Coeficiente de Armazenamento entre 0,04 e 6.10^{-4} .

Estes poços mostram que o aquífero sedimentar da Bacia de São Paulo, na área compreendida pelo Bairro Taboão e Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica, tem predominantemente comportamento livre e é constituído por sedimentos bastante porosos e permeáveis, possuindo características hidráulicas muito semelhantes àquelas descritas por Rebouças (1992) para o aquífero sedimentar da Bacia de São Paulo, situado na Cidade Universitária. É um excelente aquífero, embora com restrita amplitude lateral, e sua geometria é totalmente condicionada pelo blocos baixos do Graben do Baquirivu-Guaçu.

O poço das Indústrias Químicas Girardi, situado na Av. Santos Dumont, no Parque Industrial Cumbica, apresentou vazão de 8 m³/h, Transmissividade de 0,1 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de $2,5.10^{-4}$. O aquífero da Bacia Sedimentar de São Paulo, no local, é permeável, embora a espessura das camadas arenosas seja restrita e apresentam indícios de se encontrar bastante esgotadas.

O poço da Transportadora de Água Nova Diadema, situado no Jardim Presidente Dutra, no lado leste das pistas do Aeroporto, apresentou vazão de 22 m³/h, Transmissividade de 0,1 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 0,12. O aquífero apresenta, predominantemente, comportamento semi-confinado. Possui camadas arenosas permeáveis, embora de espessura restrita. Estas camadas são cobertas por camadas pouco permeáveis, embora constituídas por sedimentos muito porosos. Neste local o aquífero sedimentar não apresenta indícios de esgotamento.

No Bairro Bonsucesso, o poço do DAEE apresentou vazão de 10 m³/h, Transmissividade de 0,05 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 0,024. O aquífero sedimentar, nesse local, também possui comportamento semi-confinado, embora poroso é pouco permeável e apresenta indícios de esgotamento.

No Bairro Bonsucesso, situa-se a Alimentos Selecionados Iguatemi cujo poço possui vazão de 1,4 m³/h e o aquífero, constituído pelo manto de alteração das rochas gnaissicas, possui Transmissividade de 0,003 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 0,01. É, portanto, quase impermeável embora poroso.

Deslocando-se no sentido norte, os bairros Ponte Alta e Vila Carmela II, são abastecidos pelo SAAE - Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Guarulhos por dois poços. Em ambos os locais, o aquífero sedimentar possui comportamento livre. No Bairro Vila Carmela II, o poço apresenta vazão de 21 m³/h e o aquífero sedimentar, no local, possui Transmissividade de 0,17 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 0,46. É, portanto, muito poroso embora pouco permeável. O Poço do Bairro Ponte Alta fornece vazão de 40 m³/h e o aquífero sedimentar, no local, possui

Transmissividade de 2,0 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 0,08. É, portanto, poroso e bem permeável.

No Jardim Nova Bonsucesso, situado próximo do Bairro Vila Carmela II, existem dois poços do SAAE, um dos quais está desativado. O poço em operação apresentou vazão de 19,8 m³/h e o aquífero, no local, mostrou comportamento semi-livre, com Transmissividade de 0,7 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 7.10⁻³. É medianamente permeável e poroso.

Nota-se, nos perfis geológicos e nos testes de vazão, que as rochas cristalinas ao longo do Gráben do Baquirivu-Guaçu, são bastante fraturadas e apresentam com frequência fendas saturadas e que as vazões nos poços, principalmente os que interceptam o sistema de fraturas com direção N60W, geralmente são boas. A Transmissividade deste sistema de fraturas N60W, onde são encontradas as melhores vazões, como os poços da SKF e da Viação Itapemirim, varia entre 0,2 e 0,8 m²/h.

10. VAZÕES DOS POÇOS NO GRÁBEN DO BAQUIRIVU-GUAÇU

As zonas mais produtivas do aquífero sedimentar estão situadas nos blocos baixos do Gráben do Baquirivu-Guaçu, atulhados por sedimentos grossos. Correspondem aos poços com classes de vazões entre 28,8 e 120 m³/h e parte dos poços com classes de vazões entre 15,8 e 28,8 m³/h (Figura 6). Essas zonas são relacionados com leques aluviais que se desenvolveram nos locais afetados pela forte tectônica atuante concomitante à deposição dos sedimentos clásticos grossos, em geral situados nas proximidades da zona da Falha do Rio Jaguari. A drenagem, que se desenvolveu nas partes mais baixas do Gráben do Baquirivu-Guaçu, removeu a fração siltíco-argilosa, mais fina.

Nas posições mais distais do Falha do Rio Jaguari, na Bacia Sedimentar, houve predominância de sedimentação lamítica, também associada aos leques aluviais. Nestes locais, mais estáveis sob o aspecto tectônico, situam-se os poços com as menores vazões do sistema aquífero sedimentar.

Na Figura 7, encontra-se o mapa com as altitudes do topo do embasamento cristalino, sobreposto ao mapa de classes de vazões do sistema aquífero cristalino. As vazões foram divididas em três classes: uma contendo vazões entre 0 e 1,8 m³/h, outra entre 1,8 e 5,7 m³/h e a terceira entre 5,7 e 24 m³/h. Verifica-se que as melhores zonas aquíferas estão associadas com as estruturas rúpteis provocadas pelos esforços tectônicos que afetaram a área da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, durante o Cenozóico.

11. CONCLUSÕES

De forma geral, sedimentos arenosos ou conglomeráticos são muito permeáveis e porosos, constituindo bons aquíferos. Por serem grossos, mostram rapidez ou turbulência nas correntes responsáveis pelo transporte e deposição e são, portanto, indicativos de atividade tectônica na área de sedimentação.

Da mesma forma, rochas cristalinas contendo descontinuidades rúpteis (como falhas e fraturas abertas), são permeáveis e possuem capacidade de reservação, constituindo bons aquíferos, embora anisotrópicos. Mostram fraturamento dos maciços cristalinos e, por esta razão, são indicativos de forte

tectonismo nos locais onde há ocorrência das melhores vazões.

Verifica-se, em ambos os casos, que os melhores aquíferos sedimentares e as melhores zonas aquíferas do embasamento cristalino estão situadas nos locais onde houve maior atividade tectônica.

Uma vez determinados os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar, verificou-se que as melhores zonas aquíferas da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, contendo litotipos grossos, arenosos e conglomeráticos, englobam a área ao redor da Rodovia Presidente Dutra (entre o km 227 e km 224) junto à parte urbana de Guarulhos, nos bairros Macedo e Vila Augusta, o Parque Industrial de Cumbica, o Parque Ecológico do Tietê e o Gráben do Baquirivu-Guaçu.

Por sua vez, a área do Gráben do Baquirivu-Guaçu, contendo as melhores zonas aquíferas engloba o Bairro Taboão, o Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica, os Bairros Jardim Presidente Dutra, Jardim Ponte Alta, Vila Nova Bonsucesso e Vila Carmela I e II, todos situados no Município de Guarulhos e, no Município de Arujá, o Arujá Golf Club.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. 1977. *Parque Ecológico do Tietê - 3 - Geomorfologia. EcoUrbs, Relatório DAEE nº 3314/5, São Paulo, 24p.*
- ALMEIDA, F.F.M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, 41:* 167-263.
- AMADOR, E.S. 1975. Estratigrafia e sedimentação da Bacia de Resende, RJ. *Anais Academia Brasileira de Ciências, 47:*181-225.
- COUTINHO, J.M.V. 1972. Petrologia do Pré-Cambriano de São Paulo e arredores. *Boletim do Instituto de Geociências - USP, 3:*5-99.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1975a. *Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa I - Grande São Paulo.* São Paulo. 220p. (DAEE. Relatório final).
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1975b. *Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa I - Grande São Paulo.* São Paulo. 179p. (DAEE. Relatório final).
- DRISCOLL, F.G. 1989. *Groundwater and wells.* 2ª Ed. St. Paul, Minnesota, Ed. Johnson Filtration Systems Inc. 1089 p.
- HANTUSH, M.S. 1956. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. *American Geophysics Union Transaction, 37:*702-714.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do Precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências, 6(3):*182-200.
- JANASI, V.A. & ULBRICH, H.H.G.J. 1985. Avaliação das informações disponíveis para os granitóides do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5, São Paulo, 1985. *Atas...* São Paulo, SBG-SP. v. 1, p. 133-146.
- JULIANI, C. 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das Serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP.* São Paulo. 803p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

- JULIANI, C. & BELJAVSKIS, P. 1983. Geologia e evolução geológico-estrutural preliminar do Grupo São Roque na região da Serra de Itaberaba (SP). In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, SBG, p. 113-126.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P.; SCHORSCHER, H.D. 1986. Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra do Itaberaba na Região do São Roque - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG, v. 2, p. 730-743.
- KOVÁCS, G. 1981. *Seepage hydraulics*. Developments in water science, 10 (Translation of A szivárgás hidraulikája). Budapest, Elsevier Scientific Publishing Company. 730p.
- LEINZ, V. 1955. Decomposição das rochas cristalinas na bacia de São Paulo. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 27(4): 499-504.
- MARIANO, I.B. & SILVEIRA, E. 1984. Alternativa para o abastecimento de água do Aeroporto Internacional de Guarulhos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 3, Fortaleza, 1984. *Anais...* Fortaleza, ABAS. p.239-254.
- MELO, M.S; VINCENS, A.; TUCHOLKA, P. 1985. Contribuição à cronologia da Formação Itaquaquecetuba, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 57(2):175-181.
- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo. (IPT/PRÓ-MINÉRIO. Publicação, 1183).
- REBOUÇAS, A.C. 1992. Condições de uso e proteção das águas subterrâneas. In: PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA RMSP. *Atas...* São Paulo, ABAS/ABGE/SBG. p.77-87.
- REBOUÇAS, A.C.; RICCOMINI, C.; ELLERT, N.; DUARTE, U.; MELLITO, K.M.; SENF, L.A. 1994. *Diagnóstico hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo. 75 p. (SABESP/CEPAS-IG-USP. Relatório final) (inédito).
- RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo. 256 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- RICCOMINI, C. & COIMBRA, A.M. 1992. Geologia da Bacia Sedimentar. In: MESA REDONDA: SOLOS DA CIDADE DE SÃO PAULO. São Paulo, ABMS/ABGE/IPT. p. 37-94.
- THEIS, C.V. 1935. The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *American Geophysics Union Transaction*, II: 519-524.

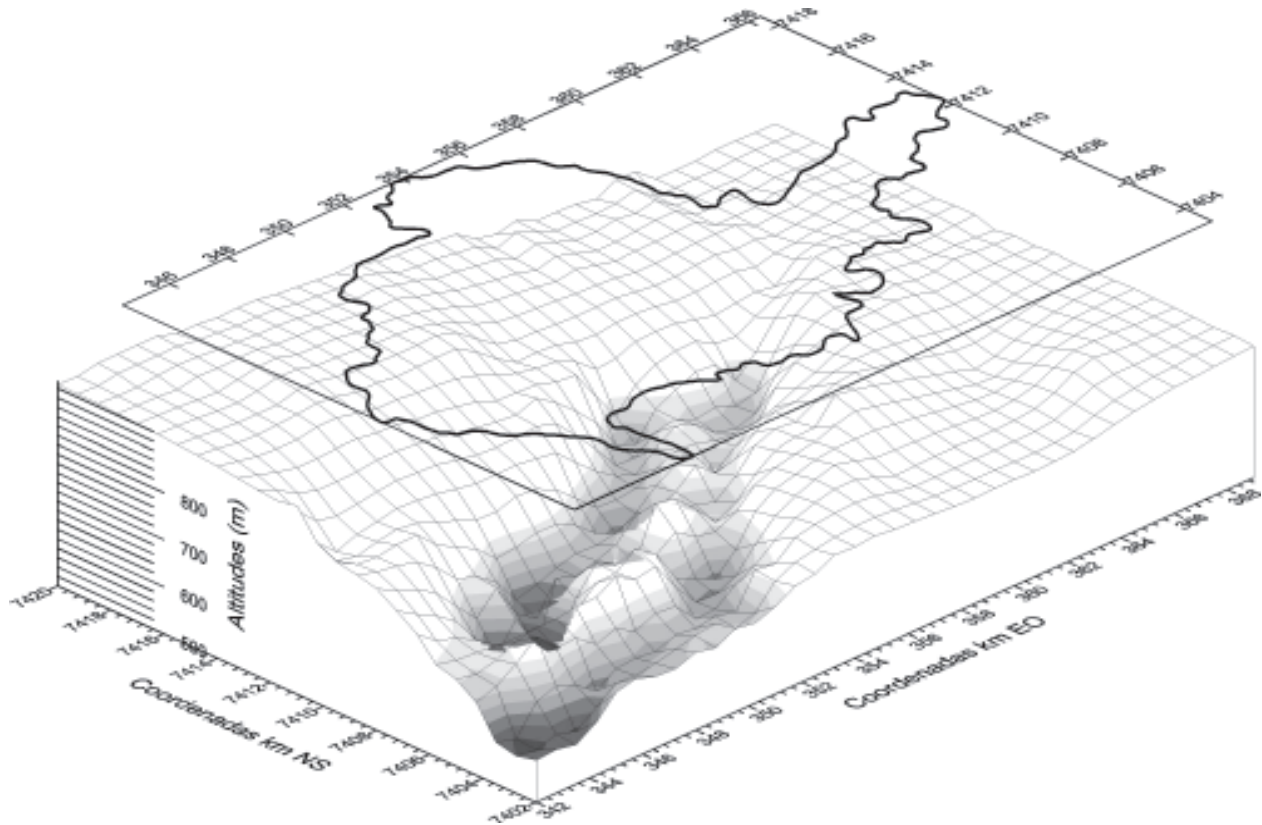


Figura 1. Mapa com o contorno da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, contendo as principais drenagens, rodovias, posição dos centros urbanos e do Aeroporto Internacional de São Paulo/Cumbica.

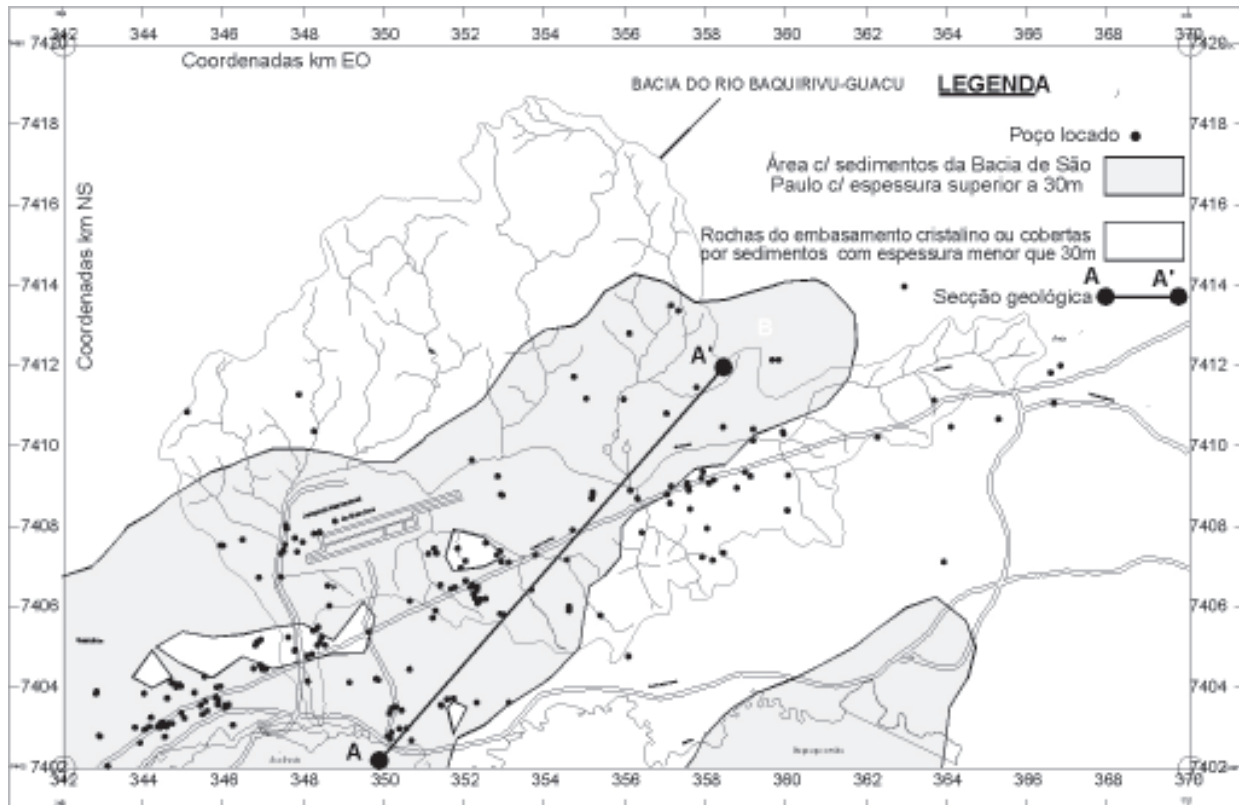


Figura 2. Mapa geológico simplificado da bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, contendo a localização dos poços cadastrados e da seção geológica A-A'.

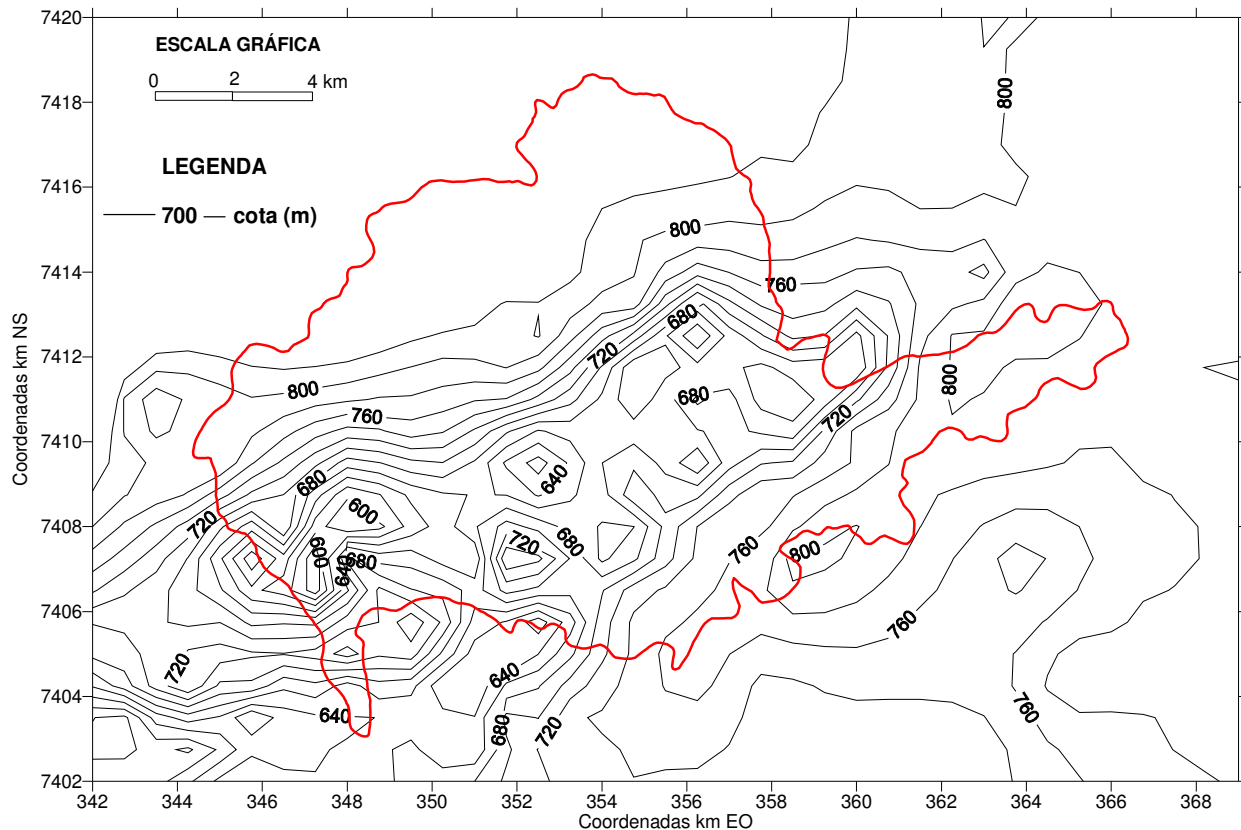


Figura 3. Mapa de contorno do topo do embasamento cristalino na bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.

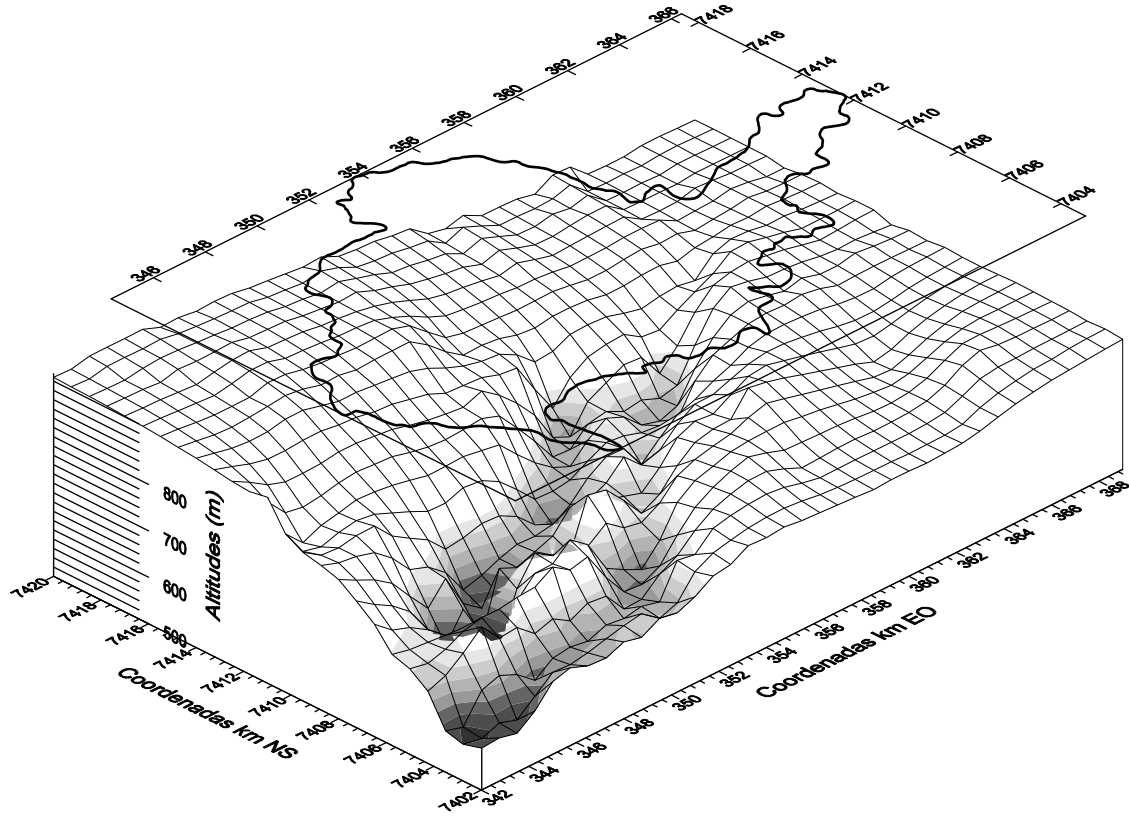


Figura 4. Contorno da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu estaqueado sobre o mapa de superfície do topo do embasamento cristalino, obtido através do método de interpolação da krigagem (com os dados dos poços cadastrados), com raio de pesquisa ampliado na direção N45E.

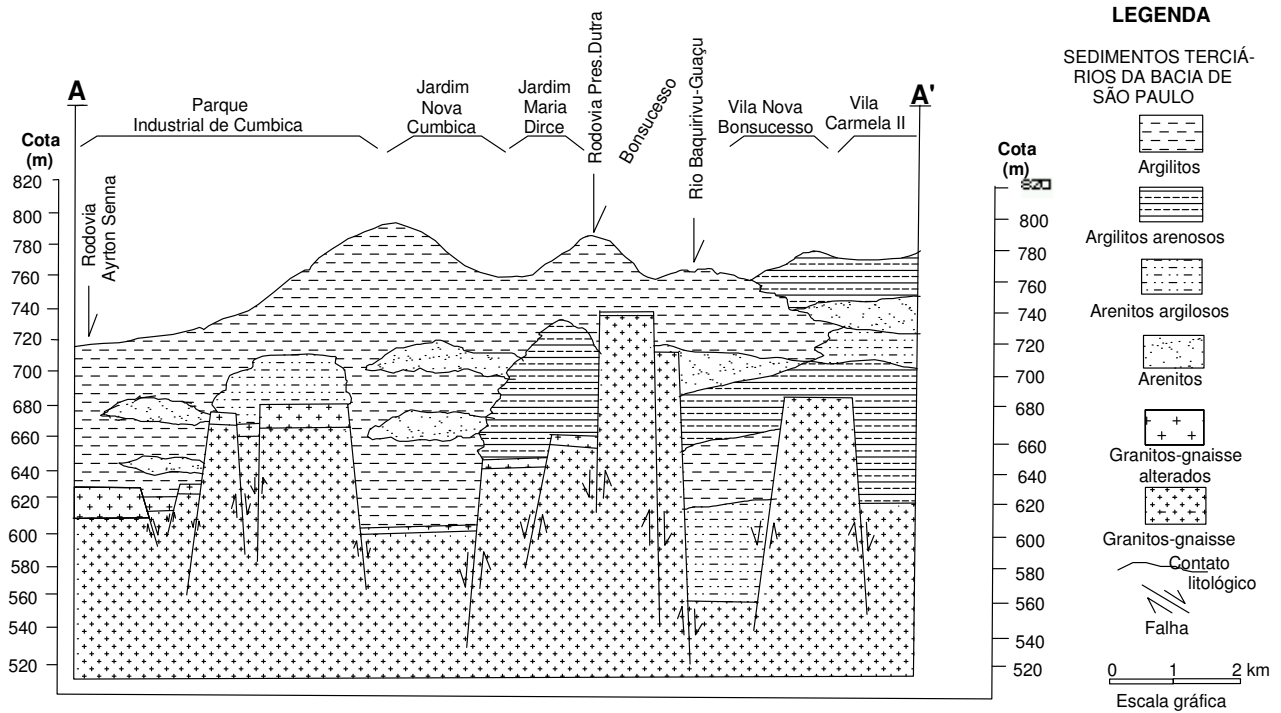


Figura 5. Secção geológica A-A'.

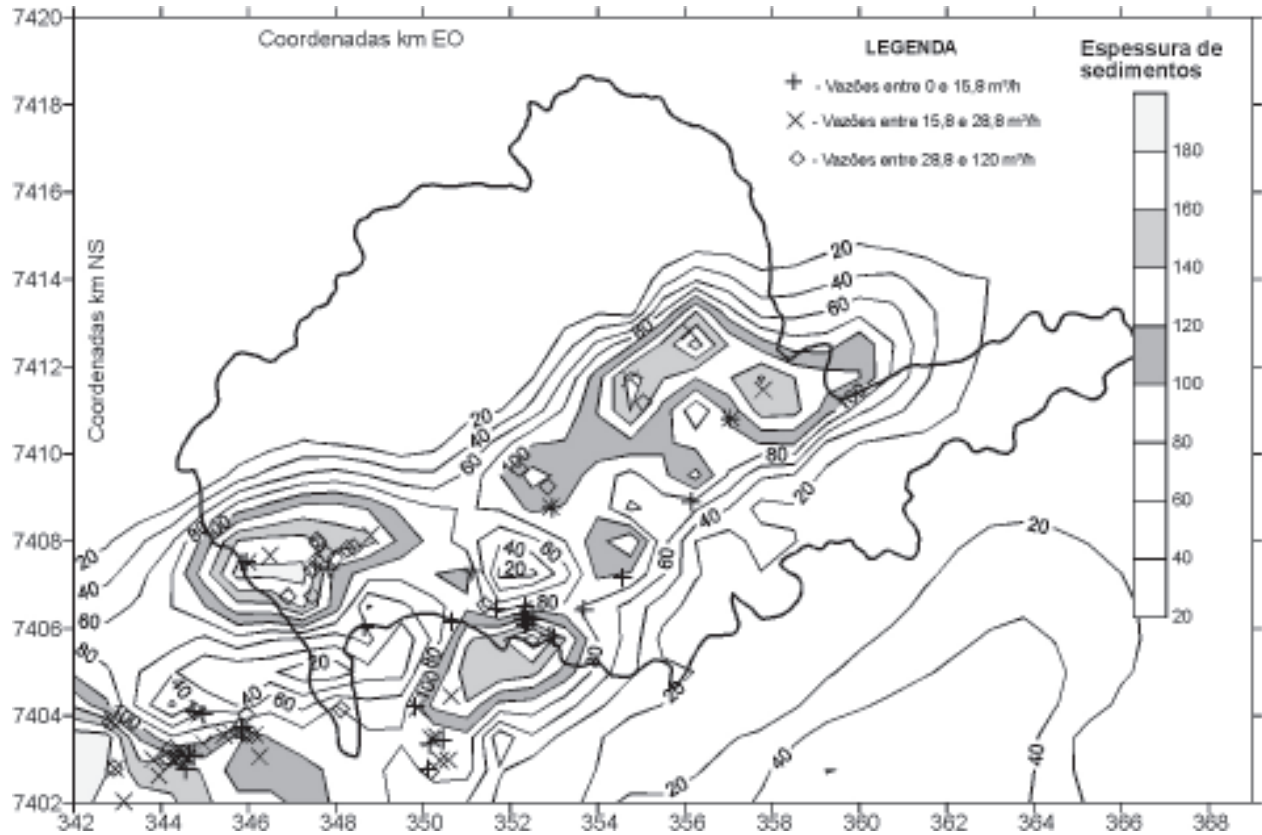


Figura 6. Mapa de contorno da espessura dos sedimentos na bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, contendo as vazões dos poços do aquífero sedimentar divididas em três classes com igual percentil.

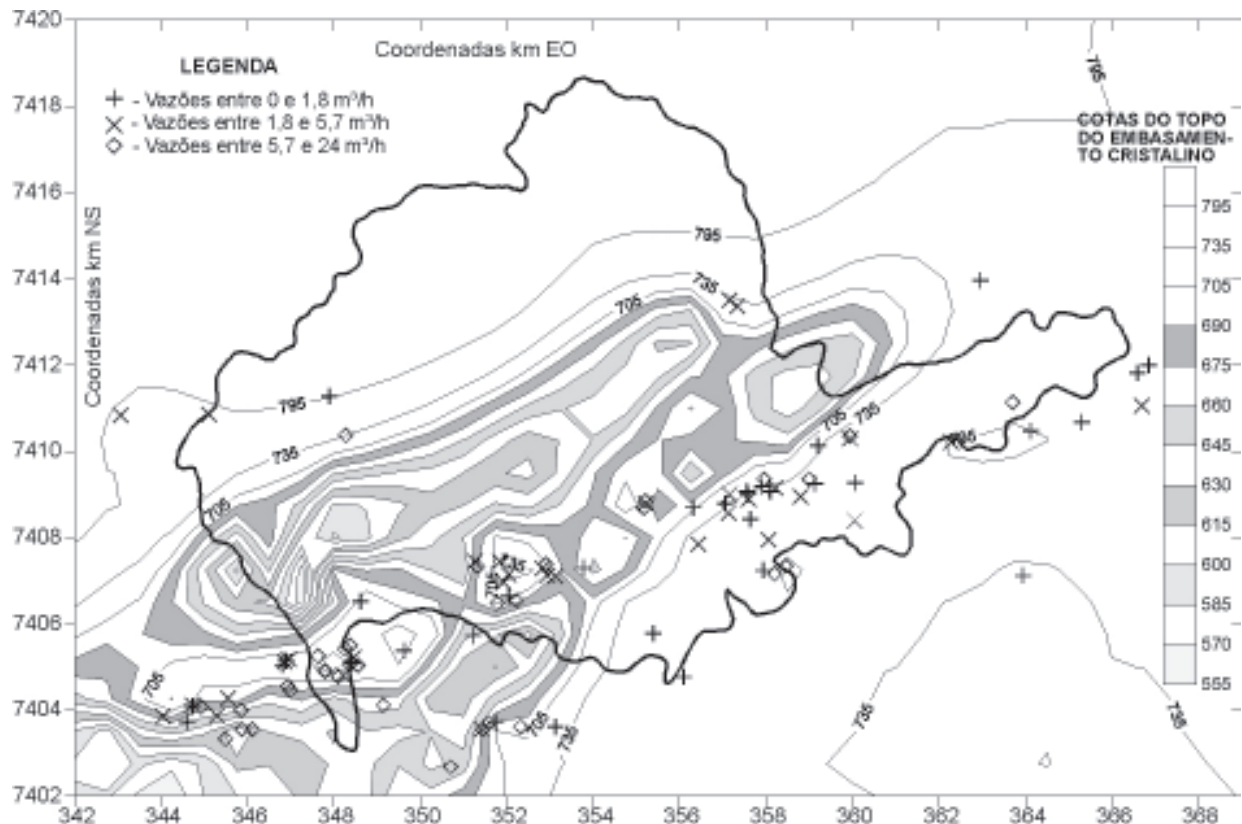


Figura 7. Mapa de contorno do topo do embasamento cristalino na bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, contendo as vazões dos poços do aquífero cristalino divididas em três classes com igual percentil.