

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA EXPLOTAÇÃO RACIONAL DO SISTEMA AQUÍFERO TUBARÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Geraldo Hideo Oda⁽¹⁾; Mara Akie Iritani⁽¹⁾; Luciana Martin Rodrigues Ferreira⁽²⁾; Alexandre Henrique da Silva⁽³⁾; Gerônimo Albuquerque Rocha⁽⁴⁾

Resumo

O Sistema Aquífero Tubarão apresenta, de forma regional, baixa produtividade. Entretanto, regiões densamente ocupadas ou com restrição de uso de água superficial, seja devido à baixa disponibilidade ou pela má qualidade, têm optado pelo uso de água subterrânea, o que leva à necessidade de definição de diretrizes à exploração deste sistema aquífero, de forma a evitar a extração de volumes maiores que a recarga disponível.

Esta proposta consiste num método para a exploração racional do Sistema Aquífero Tubarão onde se leva em consideração a extração máxima de 50% da recarga do aquífero, visando a preservação máxima das reservas permanentes. Para tanto, verificou-se que há necessidade da adoção das seguintes medidas: a) manter uma distância mínima de 500 m entre os poços (somente 4 poços/km²); b) manter um rebaixamento máximo igual a 30 m para todos os poços; e c) construir poços com profundidade máxima de 150 m. Com a adoção destas medidas sugeridas as vazões de exploração dos poços dependerão somente da capacidade específica de cada local. Com base nesta proposta um mapa de vazão recomendada é apresentado neste trabalho.

Abstract

The Tubarão Aquifer System presents regionally in São Paulo State, low productivity. However, some regions with high population density or that ones with restrictions to the surficial water use (low productivity or low water quality), have chosen the groundwater as source for the water supply. This fact brings the necessity to define directives to the exploitation of this aquifer system to avoid extracting higher rates than the available recharge.

This proposal consists in a method to obtain a sustainable exploitation of the Tubarão Aquifer System, considering the following restrictions: a) minimum distance between wells of 500 m (only 4 wells/km²); b) maximum drawdown of 30 m for all wells; and c) maximum depth of the well of 150 m. Adopting this proposed restrictions, the pumping rate of the well will depend just only on the specific capacity of each area. Based on these assumptions, a recommended discharge map is presented.

Palavras-chave: hidrogeologia, tubarão e preservação.

⁽¹⁾ Geólogo(a) do Instituto Geológico – IG/SMA, Av. Miguel Stéfano 3.900 Água Funda, São Paulo SP, Brasil. Tel. (11) 5073-5511 ramal 2049, ghoda@igeologico.sp.gov.br, mara.iritani@igeologico.sp.gov.br

⁽²⁾ Geógrafa do Instituto Geológico – IG/SMA, Av. Miguel Stéfano 3.900 Água Funda, São Paulo SP, Brasil. Tel. (11) 5073-5511 ramal 2048, lumartin@igeologico.sp.gov.br

⁽³⁾ Estagiário do Instituto Geológico – IG/SMA, Av. Miguel Stéfano 3.900 Água Funda, São Paulo SP, Brasil. Tel. (11) 5073-5511 ramal 2049, aluno do 5º ano de graduação em Geografia – FFLCH – USP, alexandrehen@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Geólogo do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE, Rua Boa Vista 175 Centro, São Paulo SP, Brasil. Tel. (11) 3293-8406, geroncirocha@daee.sp.gov.br

1. GENERALIDADES

1.1. Introdução

Os resultados aqui apresentados são parte integrante do projeto Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo na escala 1: 1.000.000, que vem sendo desenvolvido através dos recursos financeiros do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e da parceria entre o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Instituto Geológico (IG/SMA), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

Para a execução da parte final do projeto foram formados grupos de trabalho para atuar em um determinado sistema aquífero. O Instituto Geológico/SMA participou das atividades tanto no Sistema Aquífero Tubarão como no Sistema Aquífero Cristalino, por ter desenvolvido muitas pesquisas nestes dois sistemas, na região do eixo Sorocaba-Campinas. Um fator observado nos estudos anteriores desenvolvidos pelo Instituto Geológico e ressaltado na sistematização das informações no projeto do Mapa Hidrogeológico, foi o rebaixamento do nível d'água, causado pelo bombeamento intensivo e prolongado dos poços de algumas áreas. Frente a esta observação procurou-se, com base nos dados disponíveis, definir critérios com base em uma proposta metodológica para calcular a vazão máxima de exploração do Sistema Aquífero Tubarão, de forma a promover uma exploração sustentável e racional, garantindo a disponibilidade para gerações futuras.

1.2. Breve Histórico

Desde o início da década de 80 o Estado de São Paulo já reunia material suficiente para a produção de um mapa hidrogeológico, pois o DAEE concluía os Estudos das Águas Subterrâneas das Regiões Administrativas do Estado de São Paulo. No total foram cadastrados cerca de 10.000 poços tubulares profundos e realizadas cerca de 1.600 análises químicas de água subterrânea. Após o término destes estudos, iniciou-se no DAEE uma etapa de elaboração de novos mapas temáticos tais como mapas de contorno estrutural dos aquíferos, mapas piezométricos, de espessuras, etc., com a finalidade de produzir o Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo. Neste contexto, em 1982, o geólogo Gerônimo Albuquerque Rocha também elaborou uma proposta denominada: Programas e Normas para a elaboração da Carta de Recursos Hídricos Subterrâneos.

Surgiram nesta mesma época dois mapas geológicos do Estado de São Paulo em escalas diferentes: 1: 500.000 do IPT e 1: 250.000 do convênio DAEE-UNESP (Universidade Estadual Paulista).

No final da década de 80 o IG/SMA; o DAEE e a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), iniciaram o Projeto Mapa de Vulnerabilidade e Risco à Poluição dos Aquíferos do Estado de São Paulo, que foi publicado em 1997, tendo o referido projeto utilizado produtos que já estavam destinados à realização do Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo.

Nos anos de 1996 e 1997 o DAEE e o IG/SMA, já vinham se reunindo com o objetivo de retomar as atividades do Mapa Hidrogeológico. Em Dezembro de 1997 as equipes, às quais se somou a do IPT, voltaram a se reunir com o objetivo de idealizar um projeto conjunto de elaboração do referido mapa e em 1998 a CPRM também se integrou à equipe.

Recursos do FEHIDRO foram contribuíram para o andamento do projeto.

Em meados de 2004 foi iniciada uma segunda fase do projeto e no final do mesmo ano ocorreu o pré-lançamento do Mapa Hidrogeológico.

1.3. Localização e Extensão

A porção aflorante do Sistema Aquífero Tubarão localiza-se no centro-sudeste do Estado de São Paulo ocupando uma área em forma de “meia-lua” desde o Estado de Minas Gerais até o Estado do Paraná, com aproximadamente 450 km de comprimento por 45 km de largura. Esta área enquadra-se entre os meridianos 47° a 49° 30' de longitude Oeste e os paralelos 21° 30' a 24° de

latitude Sul. Com área total de 20.700 km², este sistema ocorre nas seguintes Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHs): Alto Paranapanema, Tietê/Sorocaba, Piracicaba/Capivari/Jundiá, Mogi Guaçu e Pardo (**Figura 1**).

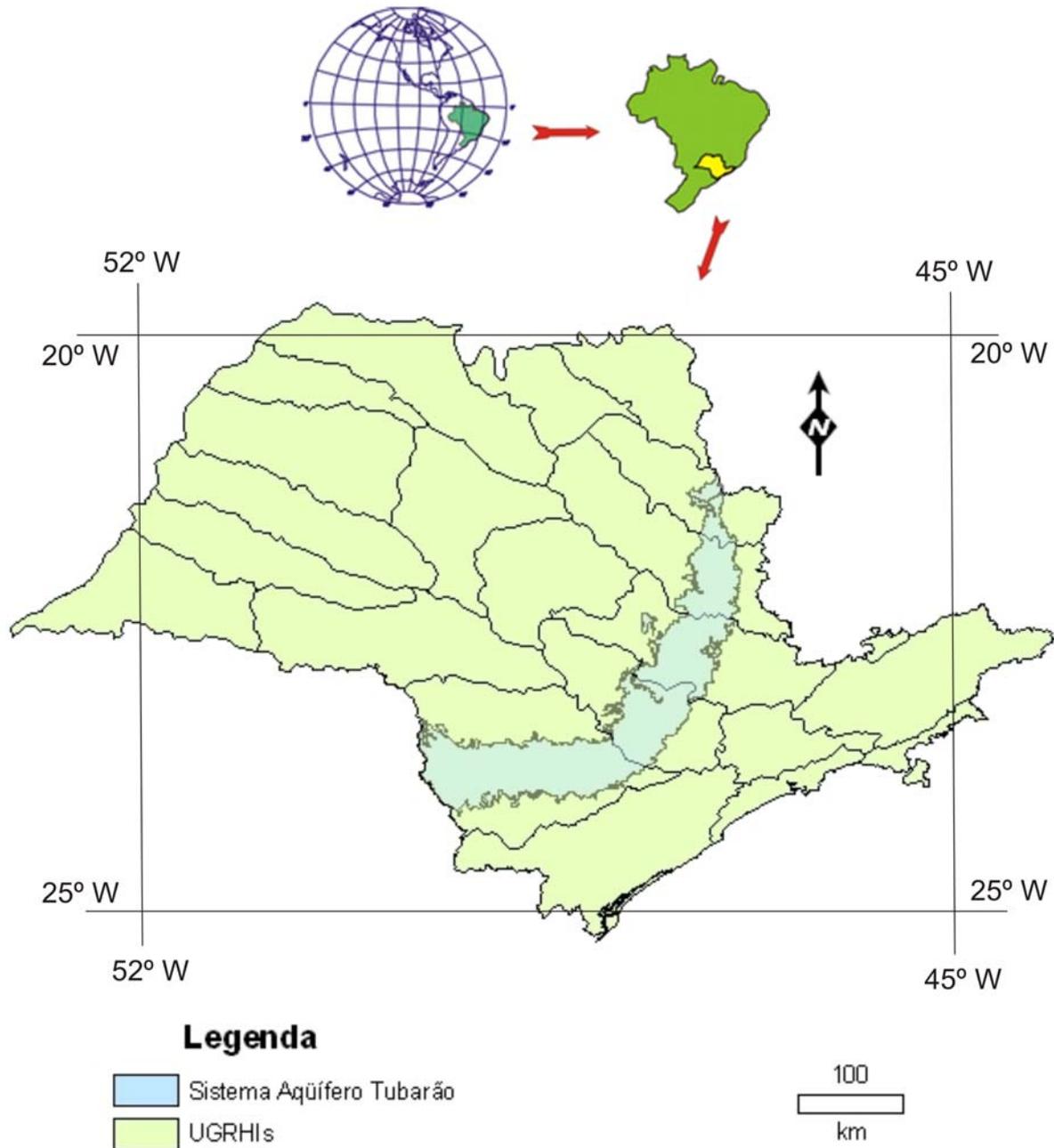


Figura 1. Mapa de Localização do Sistema Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é propor critérios para a exploração racional das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Tubarão, tendo em vista as questões relativas a: recarga do aquífero, preservação e proteção da reserva permanente, legislação, exploração atual e futura do aquífero.

3. GEOLOGIA

O Grupo Tubarão corresponde à unidade aquífera denominada Sistema Aquífero Tubarão, situando-se estratigraficamente abaixo do Grupo Passa Dois e acima do Grupo Paraná. O Grupo Tubarão contém testemunhos da glaciação permocarbonífera (354 a 251 milhões de anos), onde foram desenvolvidos vários ambientes que geraram depósitos sedimentares bastante variados. Corpos de diabásio intercalam-se a estes sedimentos, principalmente ao norte de Campinas. Como já admitido em IPT (1981a)^[1], no Estado de São Paulo ainda não existem elementos que justifiquem subdividir o Grupo Tubarão, senão nas formações Itararé, Aquidauna e Tatuí.

3.1. Formação Itararé

Esta formação corresponde à parte principal do Sistema Aquífero Tubarão e aflora desde o Vale do Rio Itararé no sul do Estado e segue para nordeste através da Depressão Periférica até as proximidades do Rio Mogi Guaçu. A formação Itararé ocorre sobre sedimentos da Formação Furnas e sobre rochas do Embasamento Cristalino. De acordo com os mapas temáticos de Northfleet *et al.* (1969)^[2], uma grande parte do Tubarão foi depositado diretamente sobre o Embasamento Cristalino.

Os sedimentos do Itararé associam-se a diversos subambientes do ambiente glacial, isto é, fluvial, marinho, lacustre, praiano, deltáico, eólicos e outros. Assim sendo, ocorrem diamictitos (termos litológicos mais característicos da formação), tilitos, ritmitos, siltitos, argilitos, folhelhos, conglomerados, arenitos conglomeráticos e sedimentos com presença de carvão. Os sedimentos do Itararé possuem, em geral, cores variando de cinza claro a escuro. As litologias predominantes na Formação Itararé são arenitos de granulação heterogênea, mineralogicamente imaturos, passando a arenitos feldspáticos e mesmo arcósios, correspondendo a uma complexa associação de variadas litofácies detríticas, que se sucedem tanto na vertical como na horizontal, de maneira mais ou menos rápida. Localmente ocorrem nesta formação camadas delgadas de carvão e/ou calcário. Os corpos litológicos são constituídos desde camadas a bancos, com espessuras que podem alcançar várias dezenas de metros. Estes corpos são maciços ou com estratificação plano-paralela a cruzada. Notam-se também no Itararé, marcas de onda e acamamento gradacional.

3.2. Formação Aquidauna

A Formação Aquidauna corresponde a uma fácies marginal do Grupo Tubarão, contemporânea à Formação Itararé. O Aquidauna situa-se na porção nordeste do Estado, ao norte do Vale do Rio Mogi Guaçu, onde se interdigita com a Formação Itararé.

A Formação Aquidauna constitui-se predominantemente de arenitos e siltitos de tonalidades avermelhadas. Ocorrem também folhelhos, conglomerados, diamictitos e ritmitos. São observadas estratificação plano-paralela ou cruzada, acanalada e marcas de onda. A base da Formação Aquidauna também jaz sobre o Embasamento Cristalino e seu contato superior se faz por discordância erosiva seja com a Formação Tatuí ou na falta desta, com as unidades superiores. A maior espessura da formação na área de ocorrência atinge cerca de 300 m na região de Mococa. As litologias da Formação Aquidauna correspondem aos subambientes continentais, periféricos até área sujeita a glaciação.

3.3. Formação Tatuí

A Formação Tatuí foi depositada numa fase transgressiva e supraglacial sobre as formações Itararé e Aquidauana. Ela é predominantemente constituída de siltitos, sendo que, subordinadamente ocorrem camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex.

Na base o Tatuí apresenta relações de discordância erosiva com as formações Itararé e Aquidauana, podendo localmente possuir conglomerado basal. O contado superior do Tatuí com o Membro Taquaral da Formação Iratí, também manifesta caráter erosivo, podendo o Membro Taquaral iniciar-se com arenito conglomerático ou conglomerado, contendo seixos de sílex, quartzo e siltito verde da formação inferior (Tatuí). A Formação Tatuí corresponde à parte das formações Rio Bonito e Palermo.

4. GEOMETRIA DO SISTEMA AQUÍFERO TUBARÃO

4.1. Topo

O topo da parte aflorante do Sistema Aquífero Tubarão é caracterizado por formas de relevo denudacionais semelhantes às encontradas na Depressão Periférica Paulista cujas feições geomorfológicas acham-se descritas abaixo, conforme Deffontaines (1935) *apud* Almeida (1964)^[3], Almeida (1964)^[3], IPT (1981b)^[4] e Ross & Moroz (1997)^[5].

4.1.1. Zona do Moji-Guaçu

Segundo Ross & Moroz (1997)^[5], nesta zona são encontradas formas de relevo cujo modelado é constituído por colinas amplas de topos tabulares. As altitudes variam entre 500 a 650 m. A dimensão interfluvial situa-se entre 1.750 a 3.750 m e as declividades entre 5% e 10%. De acordo com IPT (1981b)^[4] a drenagem nesta zona possui um traçado dendrítico, com algum controle estrutural, tendendo, em algumas regiões, a um tipo retangular. Em algumas áreas da Zona do Mogi Guaçu ocorrem boçorocas, principalmente na região de Casa Branca e Aguai.

4.1.2. Zona do Paranapanema

De acordo com Ross & Moroz (1997)^[5] nesta zona predominam colinas de topos convexos e tabulares. Os vales possuem entalhamentos que variam de menos de 20 a 80 m. A distância interfluvial varia entre 500 a 1000 m. As altitudes predominantes são entre 600 a 700 m e as declividades das vertentes entre 10% e 20%. Segundo Almeida (1964)^[3], a rede de drenagem principal é ressequente, com adaptações locais às direções de diáclases orientadas NE e NW, direções que também são encontradas nos menores cursos de água.

4.1.3. Zona do Médio Tietê

Ainda de acordo com Ross & Moroz (1997)^[5] nesta zona são encontradas colinas amplas de topos tabulares e convexos. Os vales possuem entalhamentos com cerca de 20 m, e a dimensão interfluvial varia de 750 m a 3.750 m. As altitudes variam entre 500 a 650 m, enquanto que as declividades entre 5% e 10%. Segundo Almeida (1964)^[3] a rede de drenagem segue o padrão dentrítico, sendo considerada por Ross & Moroz (1997)^[5] bem organizada. Para estes dois últimos autores, esta zona está sujeita a fortes atividades erosivas.

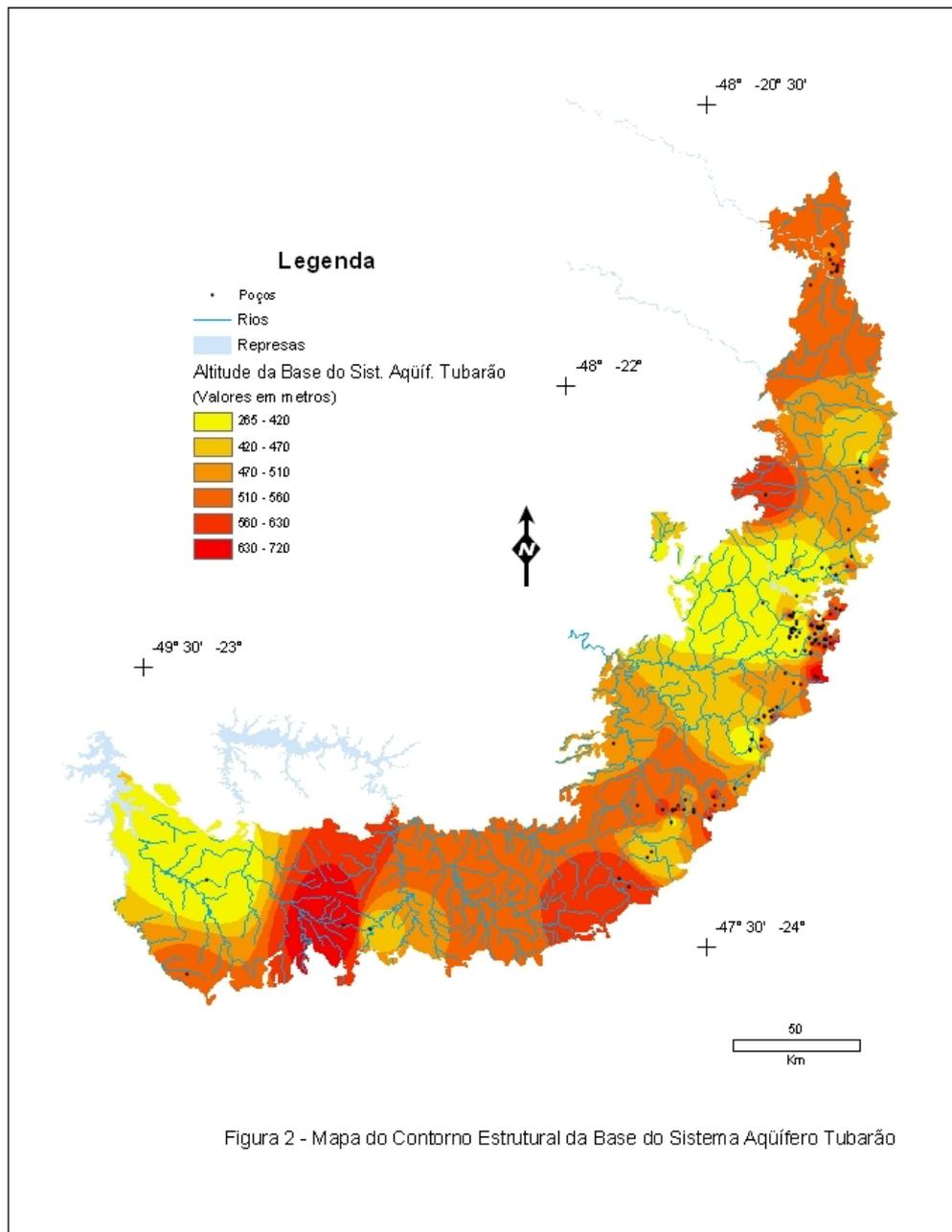
4.2. Base

Para o estudo da base do aquífero foi confeccionado o Mapa de Contorno Estrutural da Base do Sistema Aquífero Tubarão, que mostra porções mais elevadas e mais rebaixadas do Embasamento Cristalino (**Figura 2**). Algumas destas porções concordam com estudos anteriores realizados na área estudada, como entre Salto de Pirapora e Itu (Oda 1998)^[6], Campinas (IG/SMA 1993)^[7], Bacia do Rio Piracicaba (IG/SMA 1995)^[8] e na região das cidades de Tietê, Capivari e Mombuca (Vidal 2002)^[9]. Muitos poços perfurados na porção oeste não puderam ser utilizados na

construção do mapa de contorno da base, pois, os mesmos não atingiram a base do Sistema Aquífero Tubarão.

4.3. Espessura

A partir do contato Tubarão-Cristalino aumenta a espessura do Sistema Aquífero Tubarão para dentro (oeste) da Bacia Sedimentar do Paraná, atingindo um máximo de 800 m (DAEE 1982)^[10]. Vidal (2002)^[9] valendo-se de dados de poços tubulares profundos e de 12 sondagens elétricas verticais realizadas por DAEE (1981)^[11], interpretou uma porção extremamente rebaixada do Embasamento Cristalino entre Tietê e Mombuca, onde a espessura do Tubarão atinge cerca de 750 m.



4.4. Porção Não Aflorante

A porção não aflorante do Sistema Aquífero Tubarão abrange cerca de 2/3 oeste do Estado de São Paulo, situado estratigraficamente acima dos sedimentos do Grupo Paraná (Furnas e Ponta Grossa) e abaixo dos sedimentos do Grupo Passa Dois (Iratí e Corumbataí). De acordo com Northfleet *et al.* (1969)^[2] a maior espessura perfurada nesta porção não aflorante do Sistema Aquífero Tubarão é de 1.311 m em um depocentro localizado na porção centro-sul do Estado de São Paulo (Figura 3).

5. HIDROGEOLOGIA

5.1. Recarga nas Regiões Administrativas 4 e 5

A porção aflorante do Sistema Aquífero Tubarão acha-se totalmente inserida nas regiões administrativas 4 e 5.

Na Região Administrativa 4 (Sorocaba), onde se insere a porção aflorante sul do Sistema Aquífero Tubarão, as precipitações variam de 1.240 a 1.320 mm/ano e a evaporação potencial média de 1.300 a 1.550 mm/ano (DAEE 1982)^[10]. Nesta região, a recarga de água subterrânea é da ordem de 240 mm/ano. Como a sua área é de 40.000 km², sua reserva ativa é da ordem de 10.000.000.000 m³/ano DAEE (*op. cit.*)^[10].

Na Região Administrativa 5 (Campinas) onde se insere a porção aflorante norte do Sistema Aquífero Tubarão, as precipitações variam de 1.100, 1.300 e 1.500 mm/ano e a evaporação potencial média de 900 a 1.500 mm/ano (DAEE 1981)^[11]. Nesta região administrativa, conforme DAEE (*op. cit.*)^[11], a recarga de água subterrânea é da ordem de 250 mm/ano. Como sua área é de 27.000 km², sua reserva ativa é da ordem de 7.000.000.000 m³/ano.

5.2. Recarga no Sistema Aquífero Tubarão

Para o cálculo da recarga anual do sistema foi utilizada uma taxa de 250 mm/ano, cujo valor foi multiplicado por 20.700 km² correspondente à área do Tubarão, gerando um volume de 5.000.000.000 m³ por ano.

5.3. Poços Selecionados

Para o desenvolvimento do estudo do Sistema Aquífero Tubarão, foram utilizados 925 poços tubulares profundos provenientes de duas bases de poços. A primeira base foi gerada a partir do Banco de Dados (SIDAS) do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, que após criteriosa seleção e consistência de dados, resultou num arquivo final com 332 poços. A segunda base foi gerada a partir do Banco de Dados do Instituto Geológico/SMA, que também, após consistência com os dados provenientes do DAEE, resultou em um arquivo com 593 poços. Os poços do DAEE estão mais uniformemente distribuídos por toda área de ocorrência do Tubarão, enquanto que os poços do IG/SMA estão concentrados na parte central do aquífero, no eixo Sorocaba-Campinas.

A análise geral dos dados proporcionou a obtenção dos seguintes parâmetros:

- Capacidade específica mediana = **0,1** m³/h/m;
- Profundidade mediana dos poços = **152** m;
- Nível estático mediano = **18** m;
- Espessura saturada mediana = **134** m;
- ¼ da espessura saturada = **33,5** m.

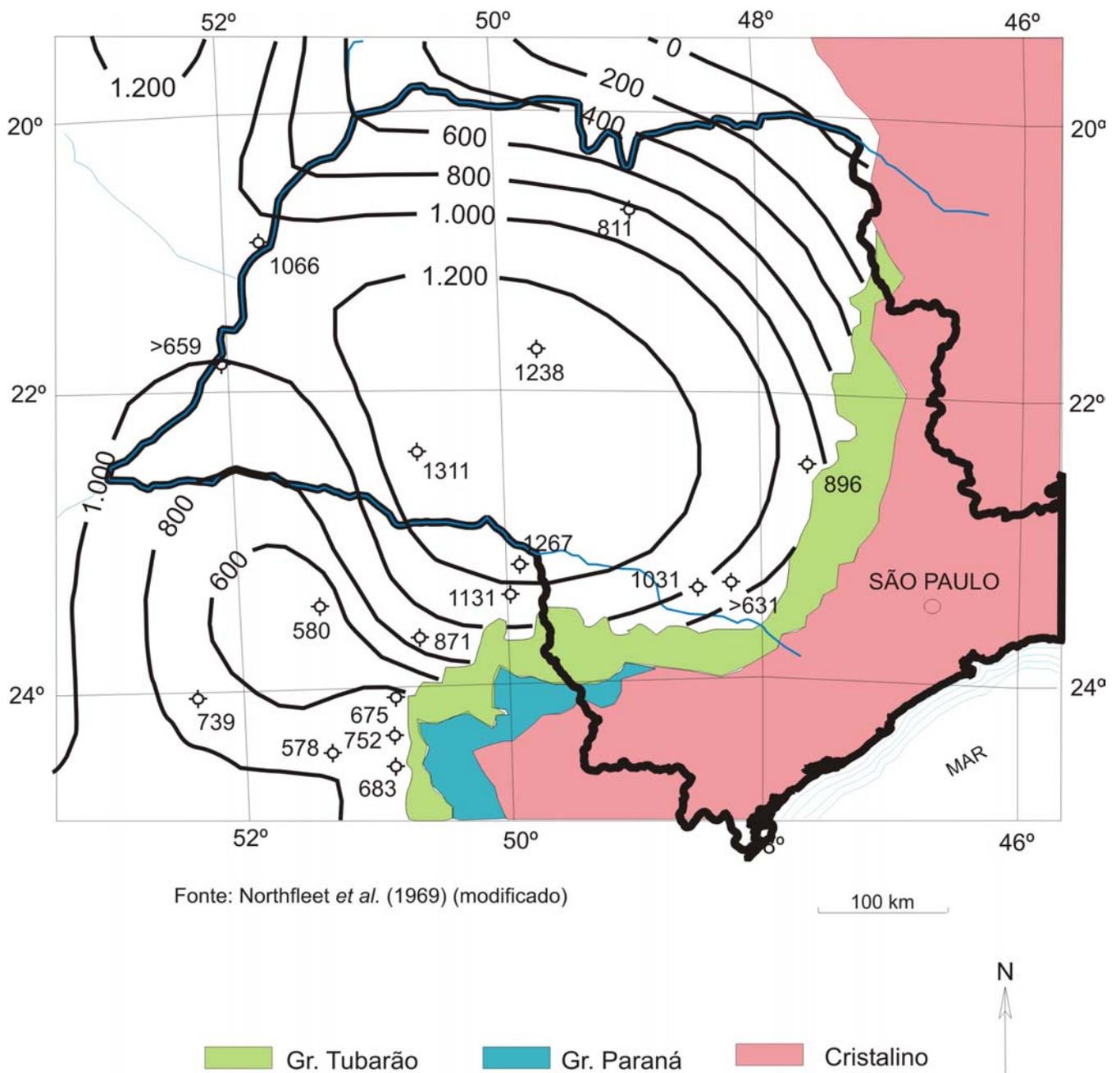
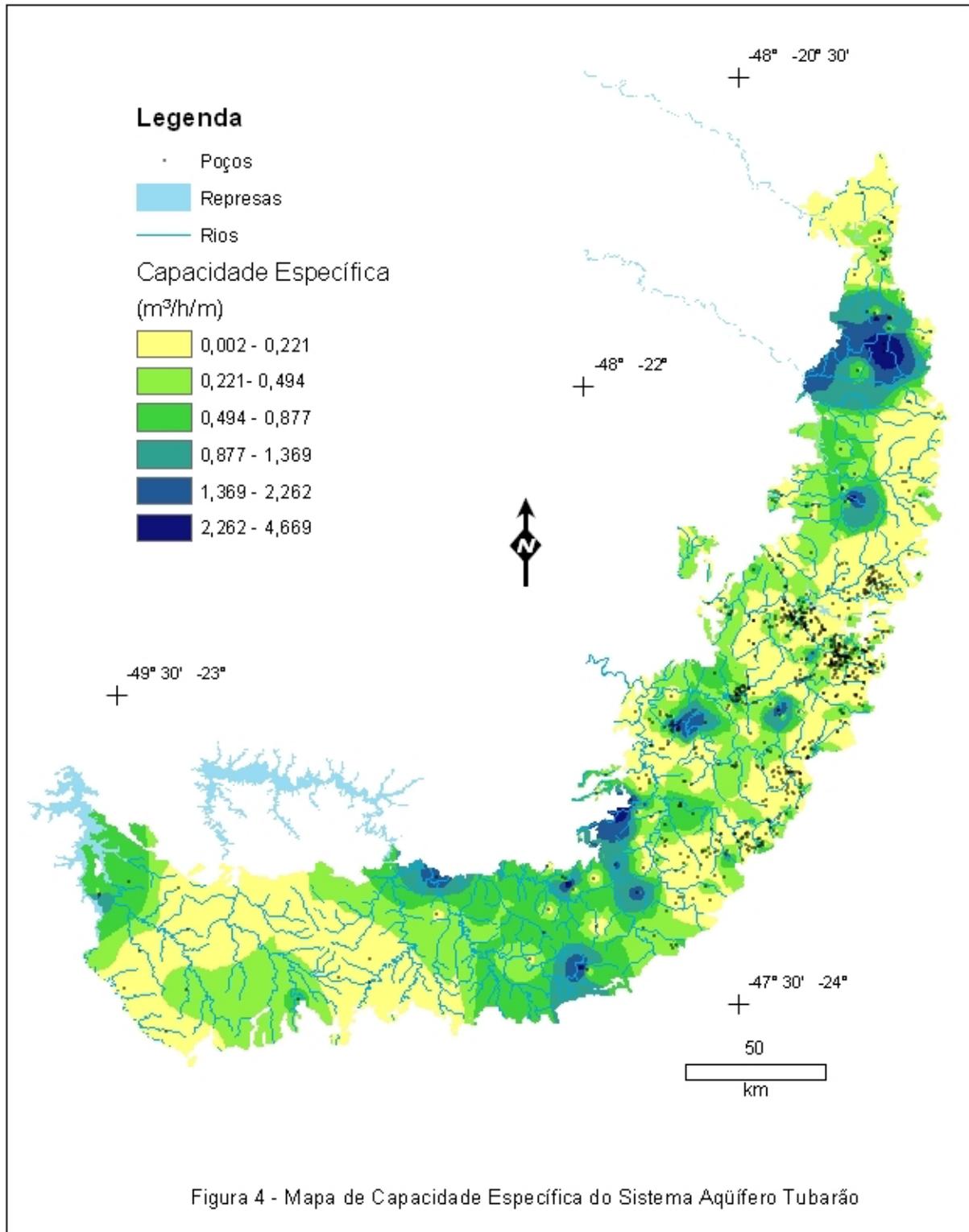


Figura 3 - Mapa de Isópacas das Formações Itararé + Aquidauana (m)

5.4. Capacidade Específica

Para a análise deste parâmetro foram utilizados 765 poços, cujo valor médio encontrado foi de $0,30 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os parâmetros encontrados (moda, mediana e desvio padrão) foram respectivamente: 0,1; 0,11; e $0,54 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Estes valores são concordantes com DAEE (1981^[11] e 1982^[10]); Diogo et al. (1981)^[12]; Oda (1998)^[6]; IG/SMA (1993)^[7]; IG/SMA (1995)^[8].

No mapa de distribuição da capacidade específica (Figura 4) são apresentados 6 intervalos de capacidade. Neste mapa notam-se que os dois intervalos menores ocupam cerca da metade da área do sistema.



Neste mapa notam-se que os dois intervalos menores ocupam cerca da metade da área do sistema. O intervalo de maior capacidade (2,262 a 4,669 m³/h/m), representa aproximadamente 5% da área do sistema. Estas pequenas áreas de maior capacidade específica representam zonas hidrogeologicamente mais favoráveis podendo corresponder a uma ou mais respostas hidráulicas de eventos geológicos como juntas, falhas, alinhamentos ou cruzamento destas estruturas, porções confinantes ou barreiras hidrogeológicas.

5.5. Método de Elaboração do Mapa de Vazão Recomendada

Tendo em vista o uso crescente das águas subterrâneas, tem-se observado, em algumas localidades, o rebaixamento acentuado do nível d'água. Considerando o significado deste fato, tornou-se crescente a necessidade de preservar os recursos hídricos subterrâneos de impactos causados por uma exploração intensiva. Tendo em mente estas premissas e com o pensamento voltado ao bem estar das populações futuras, esta proposta metodológica é aqui apresentada visando a exploração racional deste sistema aquífero.

O conceito fundamental desta proposta baseia-se na exploração de uma parcela da recarga do aquífero, que no presente caso foi considerada uma exploração inferior a 50%, isto é, um volume inferior a 2.500.000.000 de m³/ano, que corresponde à cerca de 120.000 m³/ano/km²; ou 14 m³/h/km².

Uma vez admitido este conceito, partiu-se para a determinação de mais dois parâmetros envolvidos: número de poços por km² (malha de poços) e rebaixamento máximo a ser permitido em cada poço.

A partir deste ponto há necessidade de se fixar um dos parâmetros para se obter o outro. No presente método foram admitidos 4 poços/km² ou distância mínima de 500 m entre poços, isto é, o mesmo que o Instituto Geológico/SMA adotou como média na abertura de seus poços no Sistema Aquífero Tubarão.

Uma vez admitida a malha de poços (4 poços/km²), cabe a cada poço uma vazão de 3,5 m³/h (3 m³/h por questões de segurança).

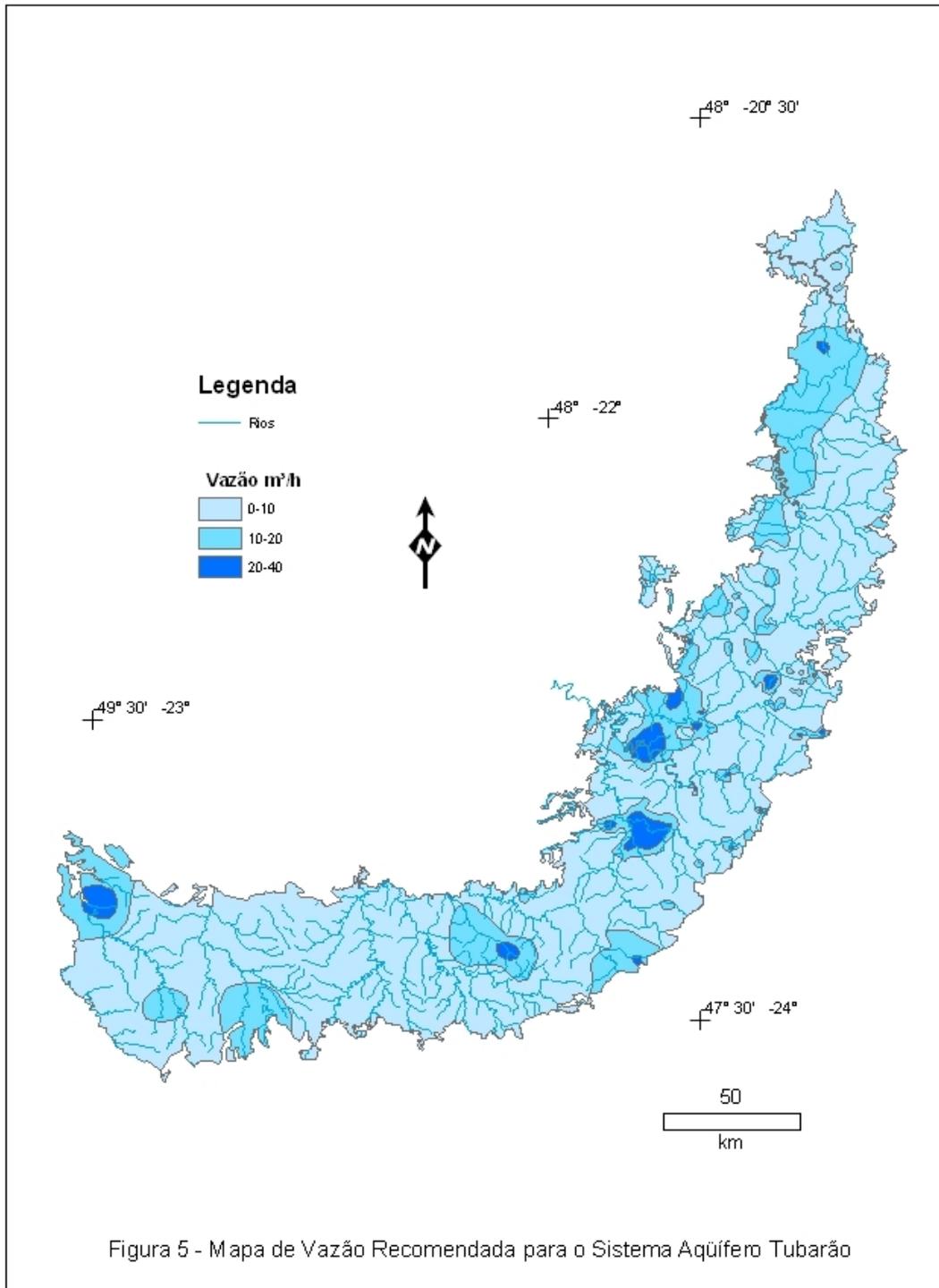
Para a determinação do parâmetro mais importante deste método, que é o rebaixamento máximo a ser permitido em cada poço, é necessário considerar o Sistema Aquífero Tubarão como um meio homogêneo e com uma capacidade específica mediana de 0,1 m³/h/m. Dessa forma, para se obter uma vazão de 3 m³/h a partir de um poço com capacidade específica de 0,1 m³/h/m, é necessário rebaixar 30 m.

Considerando ainda os valores medianos obtidos através da análise geral dos poços selecionados, pode-se estabelecer como recomendação o valor de: 150 m como a profundidade máxima de perfuração para os novos poços a serem construídos no Tubarão, com o objetivo de preservar as porções mais profundas do aquífero. Nota-se também que 30 de rebaixamento corresponde à cerca de ¼ da espessura saturada mediana dos poços selecionados.

Na prática, a capacidade específica varia a cada ponto do aquífero, e dessa forma a vazão de cada poço dependerá de sua própria capacidade específica uma vez que o rebaixamento será único para todos os poços.

Para efeito de simulação e melhor entendimento do método, foi considerado um bloco do aquífero com 1 km² por 150 m de espessura, onde teoricamente seriam válidas as características medianas obtidas, para se fazer uma avaliação aproximada do rebaixamento máximo a ser permitido em cada poço. Assim sendo, o potencial teórico desta porção seria: 1.000 m x 1.000 m x 0,125 m = 125.000 m³/ano, que corresponde aproximadamente a 4 poços com vazão de 3,6 m³/h (ou 3,0 m³/h como estabelecido acima). Considerando esta vazão 3,0 m³/h e a capacidade específica mediana de 0,1 m³/h/m, o rebaixamento seria de 30 m em cada poço. O aumento do número de poços por km² implicaria na redução da vazão de cada poço, uma vez que a capacidade específica, a recarga, a profundidade dos poços e os rebaixamentos deverão permanecer constantes.

Para a confecção do Mapa de Vazão Recomendada, foi utilizado um rebaixamento máximo de 30 m para ser multiplicado à capacidade específica de cada poço selecionado. Para a interpolação das curvas e/ou intervalos de igual vazão recomendada foi utilizado o *software ArcView* versão 8.3, utilizando-se o método inverso da distância (Figura 5).



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os cálculos realizados no método aqui apresentado foram simulados numa porção ideal e teoricamente homogênea do aquífero, isto é, onde a recarga fosse realmente 0,25 m/ano e a capacidade específica 0,1 m³/h/m. Entretanto, sabe-se que as características hidráulicas do aquífero não são homogêneas em toda a sua extensão. Existem porções mais ou menos arenosas, com influência maior ou menor de fraturamentos ou da proximidade de corpos de rochas cristalinas onde localmente as vazões ficam extremamente alteradas. Um outro fator importante a ser considerado é a maior ou menor profundidade dos poços que, em sua grande maioria, são parcialmente penetrantes. Deve-se lembrar também que a capacidade específica é uma característica do poço e principalmente de sua profundidade, pois, a mesma pode ser alterada com aumento da profundidade. Como a capacidade específica varia de poço para poço, o controle da vazão a ser bombeada deverá ser em função do rebaixamento, que para o Sistema Aquífero Tubarão deverá ser de 30 m, para preservar 50% da recarga. Com relação à recarga, pouco se pode dizer dela em relação à produtividade dos poços devido a heterogeneidade do Sistema Aquífero Tubarão. Assim sendo, podemos encontrar zonas com alta taxa de infiltração com poços de baixa produtividade e vice-versa.

O fator mais importante a ser controlado é o rebaixamento, pois, dada a heterogeneidade do Sistema Aquífero Tubarão, como descrito anteriormente, a presença de camadas confinadas locais ou de zonas fraturadas, pode aumentar extremamente a produtividade dos poços, o que leva a se pensar que com isto, que se pode bombear demasiadamente um eventual poço. O aumento da produtividade de uma região para outra significará um aumento da transmissividade e, conseqüentemente, um aumento dos raios dos cones de rebaixamento. Dessa forma, o aumento exagerado das vazões e/ou dos rebaixamentos pode significar prejuízo para os poços existentes nas vizinhanças ou para os futuros poços.

Para a exploração das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Tubarão recomenda-se:

- Perfurar no máximo 4 poços por km²;
- Perfurar poços com profundidade máxima de 150 m;
- Rebaixar no máximo de 30 m em cada poço;
- Manter uma distância mínima de 500 m entre os poços.

Relação de Figuras

Figura 1 – Mapa de Localização do Sistema Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo

Figura 2 – Mapa do Contorno Estrutural da Base Sistema Aquífero Tubarão

Figura 3 – Mapa de Isópacas das Formações Itararé e Aquidauana

Figura 4 – Mapa de Capacidade Específica do Sistema Aquífero Tubarão

Figura 5 – Mapa de Vazão Recomendada para o Sistema Aquífero Tubarão

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. – 1981a – Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1: 500.000. Secretaria da Indústria, Ciência e Tecnologia. São Paulo SP. 2vol.

[2] Northfleet, A. A.; Medeiros, R. A.; Muhlmann, H. – 1969 – Reavaliação dos Dados Geológicos da Baía do Paraná. Bol. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 12 (3): 291-346, jul./set.

[3] Almeida, F. F. M. – 1964 – Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. Bol. do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, nº 41 p.169-263.

-
- [4] IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. – 1981b – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:1.000.000. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. Vol I e II.
- [5] Ross, J. L. S.; Moroz, I. C. – 1997 – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000. Laboratório de Geomorfologia – Dep. de Geografia – FFLCH/ Laboratório de Cartografia e Geotéc. – Geologia Aplicada – IPT/ FAPESP. Vol. I e II.
- [6] Oda, G. H. – 1998 – Contribuição à Hidrogeologia da Região entre Salto de Pirapora e Itu (SP): Análise da Produtividade, Ocorrência e Circulação das Águas Subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino. Departamento de Geologia Econômica, Instituto de Geociências, USP. São Paulo SP. 100p. (Dissertação de Mestrado).
- [7] IG/SMA – Instituto Geológico – 1993 – Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP). Relatório Técnico IG, 3v.
- [8] IG/SMA – Instituto Geológico. - 1995 - “Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba, SP” (Capítulo de Hidrogeologia) do “Programa Bacia do Rio Piracicaba - Estudos Geoambientais para Planejamento Territorial”, Relatório Técnico - Instituto Geológico, São Paulo, SP, 3 v.
- [9] VIDAL, A. C. – 2002 – Estudo Hidrogeológico do Aquífero Tubarão na Área de Afloramento da Porção Central do Estado de São Paulo. IGCE/UNESP, Rio Claro SP. 109 p. (Tese de Doutorado).
- [10] DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. – 1982 – Estudo de Águas Subterrâneas – Região Administrativa 4 – Sorocaba. 2 vol.
- [11] DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. - 1981 - Estudo de Águas Subterrâneas – Região Administrativa 5 – Campinas. 2 vol.
- [12] Diogo, A; Bertachini, A. C.; Campos, H. C. N. S.; Rosa, R. B. G. S. – 1981 - Estudo preliminar das características hidráulicas e hidroquímicas do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. In: 3º Simp. Reg. Geol., Curitiba, PR. Atas...SBG, Curitiba, 1:359-368.