

ESTUDO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Eng.º RENATO JOAO BAPTISTA DELLA TOGNA (*)

APRESENTAÇÃO

O Departamento de Águas e Energia Elétrica, no desempenho de suas atribuições de órgão coordenador e orientador do aproveitamento dos recursos hídricos do Estado, amplia agora o seu campo de atuação, abrangendo também os aquíferos subterrâneos.

A sua atenção nesta nova atividade é plenamente justificável, face à importância que representa o aproveitamento dos mananciais subterrâneos, como componentes da infra-estrutura, para o desenvolvimento sócio-econômico do Estado.

Neste sentido, o DAEE contratou os serviços de Consultoria da firma Tahal — Consulting Engineers, de Israel, consorciada com a Geopessquisadora Ltda., do Brasil, para orientação dos trabalhos desenvolvidos pelo próprio Departamento, que organizou uma equipe constituída de técnicos das diversas especialidades, exigidas para tal fim.

A metodologia e a experiência adquirida pelo pessoal do DAEE na realização deste trabalho constituem o suporte necessário para o prosseguimento dos estudos nas demais regiões do Estado.

Objetiva-se assim, o conhecimento tão preciso quanto possível dos aquíferos, bem como o aperfeiçoamento e normalização das técnicas de perfuração de poços profundos, a fim de se ter meios para orientar a implantação de uma política racional de aproveitamento das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

(*) Superintendente do Departamento de Águas e Energia Elétrica — Secretaria dos Serviços e Obras Públicas do Estado de São Paulo.

I — SUMARIO

— Propósito do Estudo

O Departamento de Águas e Energia Elétrica está elaborando um projeto destinado a estudar e avaliar os recursos de águas subterrâneas e as possibilidades de sua exploração, conforme as necessidades do Estado de São Paulo. Em continuidade pretende-se seja efetuado, numa segunda fase, um estudo hidrogeológico sistemático, com treinamento da equipe do DAEE nas técnicas modernas das disciplinas envolvidas. Para este fim, deverá ser selecionada uma região adequada para o início dos estudos dessa categoria.

Esta primeira fase do estudo foi iniciada a 1.º de março de 1972, e durou quatro meses.

— Tarefas Realizadas

As operações, na primeira fase do estudo, foram dirigidas da seguinte maneira:

- a) Estudo geral dos recursos hídricos e dos sistemas de abastecimento do Estado;
- b) seleção da primeira região para o estudo hidrogeológico detalhado;
- c) preparação do programa de atividades para a segunda fase do estudo;
- d) treinamento da equipe de engenheiros e técnicos do DAEE.

As operações incluíram:

- coleta de dados:
geológicos: mapas e seções geológicas e perfis litológicos de poços,

hidrogeológicos: cadastro de poços, dados geofísicos e resultados de análises químicas, meteorológicos: chuvas, temperaturas, umidade, evaporação, insolação e mapas climatológicos,

hidrológicos: hidrométricos, deflúvios diários e anuais, posição e características de bacias hidrográficas, estações fluviométricas e de reservatórios, existentes e planejados,

planejamento: consumo atual, recursos de águas exploradas, instalações de abastecimento existentes, tais como poços, sistemas de adução, estações de bombeamento, reservatórios, etc., em todo o Estado e com especial atenção na região escolhida para o início do estudo detalhado.

— sistematização e elaboração dos dados provenientes de fontes governamentais e particulares; introdução de técnicas de elaboração modernas, como a preparação de sistematização do cadastro de poços; mapas de isópacas e estruturais; avaliação comparativa de dados hidrometeorológicos, preparação da previsão de demandas de água a médio prazo; comparação dos investimentos necessários para a produção de água de poços, nos diferentes aquíferos, conforme a divisão regional.

— avaliação e análise da informação obtida, a fim de preparar um programa de estudo detalhado para a segunda fase.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

São apresentados, a seguir, os resultados e conclusões da primeira fase de estudos, exceto o referente a seleção da primeira região de estudo, a qual será considerada mais adiante. Os resultados são aqui discutidos segundo os temas do trabalho, sem obedecer a sequência cronológica.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

O Estado de São Paulo é constituído, numa quarta parte, pelo Embasamento Cristalino, e nas três quartas partes restantes, pelos sedimentos da Bacia do Paraná, onde se concentram os aquíferos mais importantes.

Os aquíferos do Estado estão divididos em três grupos:

a) Aquíferos regionais:
— Arenito Botucatu
— Arenito Bauru

b) Aquíferos regionais com extensão limitada:
— Formação Furnas

— Formação Caiuá (geralmente incluída no Bauru)
— Sedimentos terciários das bacias de São Paulo e Taubaté
— Sedimentos litorâneos

c) Aquíferos localizados:

— Falhamentos no Embasamento Cristalino
— Rochas calcárias cavernosas, Pré-Cambriano
— Camadas arenosas do Grupo Tubarão
— Falhas no basaltos da Formação Serra Geral.

Em seu estado natural, os aquíferos atuam como reservatórios intermediários entre as recargas (entradas) no sistema e as descargas desses reservatórios (saídas, geralmente nos rios ou diretamente no mar). Estes reservatórios naturais contém reservas multi-anuais de água, que permitem uma exploração artificial superposta ao regime natural. Os aquíferos importantes no Estado de São Paulo fornecem o fluxo de base dos rios. Embora o fluxo de base dos rios forme a parte principal de sua descarga anual, destaca-se a importância dos volumes de água subterrânea armazenados nos aquíferos. Estas características dos grandes aquíferos, como os arenitos Botucatu e Bauru, facilitam a extração de consideráveis quantidades de águas subterrâneas de boa qualidade, sem afetar essencialmente o fluxo de base dos rios.

Buscou-se preparar uma estimativa preliminar da recarga dos aquíferos regionais e regionais limitados. O resumo indica que a recarga desses aquíferos pode atingir a 35 bilhões de m³/ano. Desses, somente 12% não vão para os rios, dentro dos limites do Estado de São Paulo. Notou-se que nos aquíferos regionais, como no caso de Ribeirão Preto, a concentração da exploração por bombeamento, poderá causar problemas de operação.

Em aquíferos regionais com extensão limitada, como na bacia sedimentar de São Paulo, a super exploração por um lado e a redução da recarga natural por outro, põem em perigo a utilização contínua desse recurso.

Excluindo-se a porção coberta e confinada do aquífero Botucatu e as seções profundas dos aquíferos sedimentares nas bacias, todos os demais apresentam condições de freáticas a semi-confinadas.

Estima-se que no Estado de São Paulo existam cerca de 5.000 a 6.000 poços, que produzem anualmente entre 500 e 600 milhões de m³. Nesta fase do trabalho, foram cadastrados aproximadamente 2.500 poços, que representam uns 45-50% do total. Desses poços, cerca de 75%

têm vazão menor que 20 m³/h e cerca de 55% têm profundidade entre 100 e 200 m. Até recentemente, a profundidade máxima dos poços para exploração de água não ultrapassou os 300 m (os poços mais profundos destinam-se a prospecção petrolífera).

A água subterrânea, na maioria dos aquíferos, é de boa qualidade, apresentando baixo conteúdo em sais. Somente na parte freática do aquífero sedimentar da bacia de São Paulo, ocorrem contaminação e poluição e as partes profundas do Grupo Tubarão mostram considerável salinização.

Nos aquíferos considerados interessantes no Estado, distinguem-se as seguintes características:

O Aquífero Botucatu, cuja espessura varia entre 300 e 400 m, é em sua maior parte confinado pelos derrames basálticos, oferecendo diferentes condições de exploração. Em sua porção freática, com poços pouco profundos, a vazão é relativamente baixa, de até 100 m³/h, dependendo da penetração no aquífero e de sua espessura. Na parte confinada, a profundidade das perfurações aumenta e, paralelamente, sobem as perspectivas da obtenção de maiores vazões (Lins, Presidente Epitácio, etc.).

No Aquífero Bauru, cuja espessura chega a 300 m, a frequente cimentação do arenito grosseiro diminui a permeabilidade das camadas. Isso se reflete em vazões pequenas, entre 5 e 40 m³/h, nos poços que atravessam todo o aquífero.

Dos aquíferos regionais de extensão limitada, o Arenito Furnas não se reveste de nenhuma importância, ao passo que o aquífero litorâneo apresenta perspectivas de desenvolvimento. Na bacia sedimentar de São Paulo, a profundidade dos poços chega a 300 m, com vazões geralmente pequenas, de até 30 m³/h. O aquífero apresenta indícios de exaustão. No Vale do Paraíba, o aquífero sedimentar do Terciário oferece boas possibilidades de extração de água através de poços com 150 m de profundidade e vazões de até 150 m³/h.

Os aquíferos locais, nas falhas do Embasamento Cristalino e no Grupo Tubarão, estão situados próximo aos principais centros de consumo. Infelizmente, estes aquíferos têm características desfavoráveis (baixa permeabilidade) que limitam as vazões a 5-20 m³/h, com rebaixamentos de nível consideráveis. Condições semelhantes são observadas nos basaltos, no Interior do Estado. Nestes casos, para garantir uma vazão mínima, se requer esforços na locação adequada de poços (zonas de falhas e fraturas).

HIDROMETEOROLOGIA

Os resultados descritos neste parágrafo foram em grande parte baseados na análise de dados hidrometeorológicos efetuada paralelamente ao estudo hidrogeológico. As conclusões nesse campo foram as seguintes:

- a) existem suficientes observações hidrometeorológicas, necessárias para efetuar uma análise quantitativa, na segunda fase de estudo;
- b) os dados hidrometeorológicos de base apresentam algumas dúvidas, especialmente os referentes à evaporação, aparentemente por falta de instalações adequadas e de padrão uniforme;
- c) as estimativas de evaporação potencial, calculadas com base nos dados meteorológicos, são consideradas mais realistas que os disponíveis publicados. Os valores obtidos são os seguintes:
 - 1) Na Zona Litorânea: 700-1100 mm/ano.
 - 2) Na Zona do Planalto: 1500-2000 mm/ano.
 - 3) No Interior: 1800-2300 mm/ano.
- d) Estimativas das médias anuais dos escoamentos superficiais e subterrâneos foram preparadas com base na análise geral dos dados hidrológicos. A totalidade do escoamento, no Estado, é avaliada em cerca de 100 bilhões de m³/ano.
- e) As análises preliminares dos dados fluviométricos sugerem uma redução nas descargas dos rios, devido às captações de água e reservatórios. Isso pode ser o resultado de perdas de água por evaporação e infiltração.

ABASTECIMENTO ATUAL E PREVISÕES DE DEMANDA DE ÁGUA

Excetuando-se as tomadas para as usinas hidroelétricas, os recursos hídricos no Estado de São Paulo são utilizados atualmente somente para fins urbanos e industriais. Embora já se observem os primeiros passos para a implantação da irrigação, especialmente por aspersão, as quantidades de água consumidas para essa finalidade são insignificantes, não sendo consideradas nesta etapa do planejamento.

Os dados existentes não permitem estimar a quantidade de água atualmente consumida, porém as previsões para o ano 1985 indicam um aumento de 3,25 bilhões de m³/ano da demanda total de água. Destes, 2/3 seriam destinados ao consumo urbano e 1/3 ao consumo industrial.

A região do Grande São Paulo constitui-se no maior centro de demanda, englobando 2/3 da demanda total adicional. Entretanto, como a região é o centro da imigração de outros estados e do próprio Interior, somente cerca de 50% da população da região é servida pelo abastecimento público de água. Isso se refere, principalmente, aos pequenos municípios do Grande São Paulo.

Cerca de 20% do total de municípios do Estado, ou seja, 112 do número total de 571 cidades, não possuem rede pública de abastecimento de água. A maioria dessas cidades apresenta população menor que 20.000 habitantes. Cerca de 40% das cidades com rede de abastecimento central (171 de 458) dependem, principalmente, de poços como sua única ou mais importante fonte de abastecimento. Nos últimos anos, nota-se uma tendência nítida em aumentar a dependência em águas subterrâneas, como meio de abastecimento para fins urbanos e industriais. Isso é verdade, especialmente para cidades menores ou distantes de rios. Um dos fatores decisivos em favor dessa tendência é, sem dúvida alguma, a poluição das águas superficiais, incrementada consideravelmente pelos esgotos industriais.

As estimativas preliminares das inversões de capital necessárias para a produção de água de poços, nos diferentes aquíferos e regiões, indicam uma faixa bem ampla de inversões para cada poço. Mas, considerando-se que nos poços mais onerosos, existem perspectivas de se conseguir vazões maiores, resulta que o custo de produção por milhão de m³/ano é igual, pelo menos para os poços no aquífero Botucatu.

SELEÇÃO DA PRIMEIRA ZONA DE ESTUDO

Em vista da grande extensão do Estado decidiu-se selecionar uma primeira região para iniciar o estudo hidrogeológico sistemático. Optou-se por empregar a divisão administrativa (ver mapa III.1) e escolher a Região Administrativa 6 (Ribeirão Preto) como a prioritária, considerando que:

- a) Existe superposição entre a Região Administrativa (6) e a Zona Hidrográfica n.º 7 (Rios Pardo e Sapucaí-Mirim), facilitando o estudo numa entidade natural.
- b) Ocorrem na Região 6 os dois aquíferos regionais (Botucatu e Bauru) preferenciais para os estudos sistemáticos.
- c) Na região, no aquífero Botucatu, a menor profundidade de perfuração requerida resulta em construção mais econômica dos poços.
- d) Com a mesma inversão requerida para se extrair igual quantidade de água, serão ne-

cessários mais poços na Região 6 que em outras, refletindo-se em vantagens, como maior número de poços para informação hidrogeológica e treinamento em técnicas de construção, poços com vazões moderadas que podem abastecer pequenas cidades, etc.

- e) A Região 6, está situada num dos eixos importantes de desenvolvimento (São Paulo-Brasília).

A Região Administrativa de Ribeirão Preto (n.º 6), com área de aproximadamente 35.545 km², é atravessada pelo Rio Pardo e seu afluente importante o Mogi-Guaçu, bem como por outros rios menores (Sapucaí-Mirim, etc.). Constitui-se por «cuestas» basálticas e pelo Planalto Ocidental, com altitudes variando de 1.250 m no SE até 500 m no NW. Na região, afloram principalmente o Arenito Botucatu, os derrames basálticos da Formação Serra Geral e o Arenito Bauru, recobertos por solos arenosos, «terra roxa» e solos areno-argilosos, respectivamente. Possuindo a região uma riqueza agrícola notável e indústrias em pleno desenvolvimento, ela está dividida em 80 municípios, dos quais se destacam: Ribeirão Preto, Franca, São Carlos, Araquara, Barretos, Jaboticabal, Ituverava e São Joaquim da Barra.

Dos 254 poços cadastrados, mais da metade se encontra no aquífero Botucatu, com vazões moderadamente altas. A região é a segunda no Estado, depois do Grande São Paulo, em exploração de águas subterrâneas.

A situação atual do abastecimento de água é relativamente satisfatória, com mais de 80% das casas ligadas à rede pública. Devido à dependência de poços para o suprimento de água, a extensão total dos sistemas de abastecimento é relativamente curta. A capacidade reguladora, através dos reservatórios, parece ser baixa.

Prevê-se que para a região, o número de habitantes em 1985, chegará a 2.000.000 e que a demanda adicional de água variará entre 85 e 125 milhões de m³/ano.

PROGRAMA DE TRABALHO

O objetivo do trabalho, em sua segunda fase, é duplo: Estudo Hidrogeológico Sistemático da região selecionada, considerando os planos de desenvolvimento e o treinamento da equipe do DAEE, nos campos de Hidrologia, Hidrogeologia e Planejamento.

O enfoque conceitual para o estudo hidrogeológico da região baseia-se em dois elementos principais:

- A) as condições estáticas do sistema inteiro, representadas pelo meio ambiente, ou seja, pelas extensões, dimensões e características físicas dos aquíferos;
- B) as condições dinâmicas superpostas ao meio, as quais incluem o regime de circulação de água, de acordo com o ciclo hidrológico e a intervenção humana, como barragens, extração de poços, etc.

Para se realizar o estudo, serão necessárias as seguintes atividades:

- a) complementação da cartografia geológica da região,
- b) estudo geofísico,
- c) controle das perfurações,
- d) preparação do inventário dos poços existentes,
- e) determinação da rede de poços de observação,
- f) realização de ensaios de bombeamento, nos poços existentes e nos novos,
- g) análises químicas da água dos poços e rios,
- h) confecção de balanços hidrogeológicos,
- i) coleta, elaboração e avaliação de dados hidrometeorológicos,
- j) elaboração de balanços hidrometeorológicos,
- k) avaliação das necessidades de operação dos recursos hídricos,
- l) compilação de dados sobre o consumo de água e instalação do abastecimento,
- m) previsões do desenvolvimento econômico da região e de sua demanda futura em água,
- n) exame dos planos de abastecimento de água para os centros de consumo selecionados,
- o) treinamento da equipe, com a marcha do trabalho,
- p) preparação de relatórios progressivos e do relatório final.

De acordo com o programa, prevê-se que o estudo demandará dois anos, para a obtenção de dados simultâneos de chuvas, evaporação, escoamento de rios e níveis de água subterrânea, em pelo menos duas épocas chuvosas e duas de estiagem.

As atividades do estudo serão realizadas com: assessoria externa, pessoal técnico do DAEE e serviços técnicos como estudos geofísicos, perfurações, nivelamento de poços, operação de bombas, análises químicas, etc.

Os resultados finais e as conclusões do Estudo deverão ser apresentados num relatório fi-

nal. Durante a marcha dos trabalhos, relatórios progressivos permitirão o acompanhamento das atividades realizadas e os resultados parciais intermediários.

II — AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR

— Os Aquíferos

No Estado de São Paulo distinguem-se vários aquíferos de importância variada: aquíferos regionais, aquíferos regionais de extensão limitada e aquíferos locais (ver mapa IV.3.1), abaixo descritos.

- a) Aquíferos regionais
 1. Formação Botucatu
 2. Formação Bauru
- b) Aquíferos regionais de extensão limitada
 1. Formação Furnas
 2. Formação Caiuá
 3. Bacias terciárias de São Paulo e de Taubaté
 4. Sedimentos litorâneos
- c) Aquíferos locais
 1. Zonas de falhamentos no embasamento cristalino
 2. Calcários pré-cambrianos
 3. Grupo Tubarão
 4. Falhas e zonas vesiculares nos derrames basálticos da formação Serra Geral.

O Grupo Estrada Nova (Formações Irati e Corumbati) é a única unidade estratigráfica dentre as mais importantes do Estado, cujas características aquíferas são categoricamente consideradas como insignificantes. Os poucos poços perfurados nestas formações apresentaram vazões muito baixas.

Aquíferos Regionais

Os dois aquíferos regionais (Botucatu e Bauru), ocupam aproximadamente a metade da superfície do Estado e, além disso, suas características hidrológicas, especialmente as da Formação Botucatu, destacam sua importância dentro do sistema dos recursos hídricos de São Paulo.

a) Aquífero Botucatu

A Formação Botucatu, que dá nome ao aquífero, é de idade Triássico-Jurássico, sendo consti-

tufda por arenitos róseos e amarelados, finos e médios, arredondados a sub-arredondados, de origem eólica.

Observa-se em algumas áreas, principalmente onde as espessuras são menores, uma silicificação gradativa.

A formação, sobrejacente aos estratos argilo-siltosos do Grupo Estrada Nova, de idade Permiana e subjacente aos espessos basaltos da Formação Serra Geral, tem espessura de 300 a 400 m no Estado de São Paulo. Esta espessura está relacionada somente à sequência arenosa abaixo dos basaltos, não se referindo aos arenitos que ocorrem de permeio aos derrames basálticos. A espessura máxima conhecida, para estes arenitos intertrapeanos, é de 160 m.

Os afloramentos do aquífero Botucatu cobrem área de 16.665 km² ao longo de 400 km (ver mapa IV.3.1), estendendo-se por baixo dos derrames basálticos e da Formação Bauru. A área total aflorante e de subsuperfície do aquífero no Estado, pode atingir cerca de 150.000 km², o que representa apenas uma pequena porção da extensão total na Bacia do Paraná.

A boa seleção e arredondamento, devido à sua origem eólica, dão lugar a excelentes condições de porosidade, permeabilidade e armazenamento, o que se reflete nas elevadas vazões apresentadas pelos poços.

Dados sobre granulometria são poucos e esparsos. Os existentes indicam que mais de 50% apresentam diâmetro entre 0,125 e 0,250 mm. Esta informação foi obtida em perfuração de poços, graças à necessidade de se dimensionar os pré-filtros e os filtros.

Dados quantitativos sobre as características hidrológicas são mais raros ainda. Entretanto, os existentes indicam valores da permeabilidade ao redor de 1 a 2×10^{-3} cm/seg e transmissibilidades em torno de 300 a 700 m²/dia.

A Formação Botucatu mergulha para o centro da Bacia do Paraná, na direção N e NW. A cota do topo da formação está em torno dos 800 m nos afloramentos perto de São Carlos a-215 m em Lins e a-1.365 m em Presidente Epitácio, a cerca de 430 km de São Carlos.

Parece que fatores tectônicos como os falhamentos, foram os decisivos no estabelecimento desse desnível, se bem que pela grande distância o mergulho do arenito Botucatu seja suave.

A profundidade dos poços que exploram o aquífero Botucatu é função de sua posição estrutural e varia entre 150-250 m nos afloramentos e 400-500 m na faixa próxima ao Norte e Noroeste. Poços-piloto em Lins e Catanduva mostram que até o centro do planalto ocidental, a

profundidade passaria a 700-900 m, culminando perto do Rio Paraná, entre Presidente Epitácio e Três Lagoas (MT) a mais de 1.500 m.

A profundidade dos níveis piezométricos, condicionados pela topografia, varia entre 10 a 40 m na zona dos afloramentos. Na parte confinada do aquífero, as águas são surgentes ou semi-surgentes.

Os poços que exploram o aquífero Botucatu são os mais produtivos de todo o Estado e desses, os que atravessam camadas confinadas são os mais destacados. Em 176 poços perfurados para fins de extração d'água e inventariados nesta fase de estudo, a vazão varia 20 a 300 m³/h. Destes, 28% fornecem 20 a 50 m³/h e 27% de 50 a 100 m³/h. Notou-se rebaixamento de 10 a 60 m, podendo a vazão específica atingir mais de 20 m³/h/m.

Os poços da Petrobrás no Estado de São Paulo e cercanias, que atravessaram o Arenito Botucatu confinado, fornecem as seguintes vazões:

Lins — inicial: 600 m³/h — atual: 302 m³/h (surgente)

Olimpia — 200 m³/h (semi-surgente)

Três Lagoas (MT) — 1.500 m³/h (surgente)

Presidente Epitácio — 1.000 m³/h (surgente)

A temperatura das águas nestes poços profundos é elevada, maior que 40°C (gradiente geotérmico).

Os poços existentes, incluindo os da Petrobrás, servem principalmente para abastecimento d'água municipal.

Excetuando-se uma determinada faixa perto dos afloramentos, onde a espessura do basalto é pequena, a camada confinada da Formação Botucatu está isolada de qualquer fonte de recarga, graças à espessa cobertura dos derrames basálticos, recobertos pelo Grupo Bauru (ver mapa IV.3.1). Isto limita a recarga natural aos afloramentos da formação no Estado e nos Estados vizinhos.

A Formação Botucatu, ao longo de centenas de quilômetros, é uma unidade contínua e ininterrupta. Supõe-se que esteja afetada e perturbada por falhas, fraturas, diáclases e intrusões, que podem dar lugar a blocos isolados, desprovidos de qualquer tipo de alimentação. Estes obstáculos podem, por outro lado, afetar o movimento d'água e atrasar sua chegada ao nível de drenagem, que situa-se fora do Estado.

Isto implica em determinadas dificuldades na localização de poços com vazões econômicas e a possível salinização das águas subterrâneas em sua percolação.

As camadas de arenitos intertrapeanos nos derrames basálticos sobrejacentes ao aquífero Botucatu apresentam a mesma litologia e granulometria. Pela sua extensão limitada, espessura reduzida e falta de afloramentos, parece que uma porcentagem elevada destas intercalações arenosas são desprovidas de conteúdo aquífero.

b) Aquífero Bauru

O Grupo Bauru, de idade Cretáceo-Superior, constitui-se de sedimentos de origem continental flúvio-lacustre. Estes sedimentos são constituídos por arenitos, arenitos silíticos, arenitos argilosos, arenitos com cimento calcífero, e conglomerados basais, de cores cinzenta e avermelhada. A mediana desses termos arenosos situa-se no intervalo 0,024 e 0,325 mm.

O Grupo ou Aquífero Bauru, sobrejaz discordantemente aos derrames basálticos e cobre uma área aproximada de 100.000 km². Sua espessura atinge até 300 m.

Suas características hidrológicas, como permeabilidade e transmissibilidade, são moderadas devido a presença de siltitos e de uma cimentação calcífera em toda a formação. Esta e o deficiente acabamento dos poços, são as principais causas das vazões baixas. Dados quantitativos sobre os valores de permeabilidade e de armazenamento são escassos. Valores de permeabilidade determinados em laboratórios, situam-se em torno de $3-5 \times 10^{-4}$ cm/seg. A transmissibilidade raramente atinge 100 m²/dia.

As intercalações argilosas propiciam condições artesianas e sub-artesianas locais no aquífero, que geralmente é freático.

Estima-se que existem cerca de 700 poços perfurados no aquífero Bauru, mas durante a presente fase do estudo somente se obteve dados de 430. Segundo esta informação, a profundidade dos poços varia entre 100 a 200 m e seu diâmetro raramente ultrapassa 8 polegadas.

Sua vazão varia entre 5 e 50 m³/h, com água de boa qualidade; 25% fornecem 5 a 10 m³/h, 25% entre 10 e 20 m³/h e 17% entre 20 e 50 m³/h. Em casos raros, onde boa permeabilidade se alia à correta construção do poço, a vazão é mais elevada, como acontece, por exemplo, com o poço da Companhia Antártica Paulista na cidade de Bauru, que fornece mais de 80 m³/h, com profundidade de 170 m. Depedendo da topografia, os níveis piezométricos variam entre 0 e 60 m. Nos poços existentes o rebaixamento varia entre 10 e 100 m e as vazões específicas estão compreendidas entre 0,1-5 m³/h/m.

Devido à frequente transição de «fácies», que afeta as probabilidades de se encontrar vazões grandes, procura-se encontrar a sistemática determinante dessas transições. Por exemplo, presume-se que em bacias intracratônicas ou naquelas que recobrem falhas dos basaltos subjacentes, encontram-se as áreas mais produtivas. Em certas zonas (Urupês, Lucélia) as falhas nos basaltos são bem definidas na superfície da formação Bauru, possivelmente devido à reativação das mesmas e com reflexos na cobertura. Desenvolveu-se um método de interpretação aerofoto geológico para locação de poços profundos (Setzer).

Outro fator que às vezes reduz a permeabilidade, é a cimentação carbonática dos sedimentos clásticos, ao longo das linhas de falha. Geomorfologicamente, a consequência disso é a formação de escarpas, como na região de Monte Alto, Marília, etc.

Com o aumento gradual da demanda d'água para abastecimento a determinação de áreas promissoras dentro do aquífero poderia ser objeto de maior prioridade.

A recarga do aquífero é feita diretamente pela precipitação, sendo sua base de drenagem os rios Paraná e Paranapanema. A rede interna de drenagem é paralela e relativamente densa. O aquífero, em geral, serve como reservatório regulador para o escoamento dos rios.

Aquíferos Regionais de Extensão Limitada

Nessa categoria, incluem-se os aquíferos que se distinguem por suas características típicas (litologia, posição estrutural, características hidráulicas, etc.), em áreas limitadas a várias centenas de km². Esses aquíferos, com capacidades variáveis, em seus regimes naturais fornecem água que aflora na superfície e contribuem para a descarga de base dos rios.

a) Aquífero Furnas

A Formação Furnas, de idade Devoniana, é constituída por arenitos brancos e cinza claros, de granulação média, com níveis conglomeráticos na base, grãos angulares e sub-angulares. A matriz é caolinica e pouco abundante.

A estratificação cruzada é típica dessa formação, que aflora somente sobre 1.135 km² na região de Itararé, no Estado de São Paulo. Sua espessura ultrapassa os 300 m (360 m no poço da Petrobrás — 1-TL-1-MT em Tres Lagoas — MT).

A formação sobrejaz discordantemente ao Embasamento Cristalino, com passagem gradual aos sedimentos argilosos da Formação Ponta

Grossa. A transição irregular, devido ao ambiente marinho de sedimentação se encontra no subsolo do Estado ou em afloramentos no Estado do Paraná. O Grupo Tubarão assenta discordantemente sobre a superfície de erosão da Formação Furnas (quando ela ocorre) ou no caso contrário, assenta sobre o Embasamento Cristalino.

Além de sua reduzida extensão, o aquífero Furnas se encontra em uma zona pouco povoada e com outros recursos hídricos abundantes. Devido à pequena demanda, a exploração deste aquífero ainda não foi feita e se ignoram suas características hidrológicas. Somente em Itapeva, dois poços com profundidade de 150 e 200 m dão 0,5 e 1,2 m³/h respectivamente. A razão dessas pequenas vazões deve estar relacionada com a estrutura desfavorável do local.

Em geral, sob o ponto de vista da litologia, o aquífero reúne boas perspectivas com relação a permeabilidade, transmissibilidade e coeficiente de armazenamento. O aquífero é alimentado pelas precipitações, sendo drenado por vales profundos, como no Rio Itararé e Rio Verde.

Devido a ausência de demanda na zona aflorante e sua grande profundidade em outras, o aquífero Furnas carece de maior importância no Estado. Sua maior contribuição ao sistema hídrico do Estado, consiste em ser o regulador de uma pequena parte da cabeceira do Rio Paranapanema.

b) Aquífero Caiuá

A Formação Caiuá, do Cretáceo Superior, aflora sobre uns 3.500 km² no extremo ocidental do Estado, na região de confluência dos rios Paraná e Paranapanema. Constitue-se por arenitos eólicos vermelhos, com estratificação cruzada típica. A formação restrita a essa área, está subjacente ao aquífero Bauru. Ainda não foram bem esclarecidas as relações entre os dois aquíferos, havendo a possibilidade de, na realidade, formarem um só aquífero. O Instituto Geográfico e Geológico considera a Formação Caiuá como «fácies» do Grupo Bauru. De qualquer maneira, a informação hidrogeológica sobre o aquífero Caiuá é escassa, existindo apenas alguns poços perfurados pelo IGG e FESB na região de Teodoro Sampaio, no pontal do Paranapanema, com resultados medíocres. Tendo em vista que poços neste aquífero no Estado de Mato Grosso, fornecem 70 a 100 m³/h com pequenos rebaixamentos, é possível que o fracasso no Estado de São Paulo seja devido à localização errônea e inadequada construção dos poços.

Em geral, as características hidrológicas parecem similares às do aquífero Bauru.

c) Bacias Terciárias de São Paulo e Taubaté

Nessa categoria, se incluem as duas maiores bacias dentro do Planalto Atlântico Cristalino. Estas bacias, de origem tectônica e preenchidas por depósitos terciários cobrem, respectivamente, 1.000 e 2.000 km² de superfície. Sua maior importância prende-se à maior concentração da demanda urbana e industrial na primeira e à intensa demanda agrícola na segunda.

c.1) Bacia de São Paulo

A bacia sedimentar de São Paulo formada por falhamentos dentro do planalto cristalino, apresenta formato amebóide, com dois ramais em direção E e NE. Os sedimentos terciários e quaternários que preenchem a bacia, situados entre as cotas 700 e 850 m, cobrem área de 1.180 km². O relevo é de amplas colinas, com elevações de não mais que 50 m de suas bases. Dentro da bacia, na sua porção central aparecem dois afloramentos cristalinos: micaxistos no vale do Pacaembú e gnaisses em Higienópolis.

Os aluviões quaternários, constituídos por argilas, areias e cascalhos, estão sobrejacentes aos depósitos terciários, denominados Formação São Paulo. Esta formação, de origem lacustre e flúvio-torrencial, é constituída por camadas horizontais de argilas siltosas intercaladas com camadas e lentes de areias e, às vezes, principalmente na base, com camadas de cascalho. A distribuição e a granulometria do material clástico, assim como a coloração, é variável. Horizontes de concentrações limoníticas são frequentes e geralmente estão associados a variação dos níveis hidrostáticos.

Os sedimentos, cuja espessura pode chegar a 300 m, cobrem discordantemente a fossa cristalina fraturada.

Os poços exploram as camadas clásticas grosseiras aquíferas, cujas condições variam de lençóis freáticos até suspensos nos aluviões e passam a semi-confinados e confinados nas camadas arenosas e de cascalhos da formação terciária. Estas camadas têm espessura e extensão variável, existindo, em geral, uma camada arenosa ininterrupta na base. A permeabilidade nas camadas arenosas é da ordem de 10⁻³ cm/seg, com vazões médias entre 5 e 20 m³/h.

Estima-se que existam na Bacia de São Paulo cerca de 3.000 poços, a maioria construída para fins industriais e que exploram os sedimentos permeáveis ou falhas no Embasamento Cristalino, ou ambas as estruturas aquíferas. O aumento do número de poços é impressionante: de 40 no começo do século, a 1.800 em 1960 e 3.000 em 1970.

A aglomeração humana e industrial, a concentração de poços e a extração de água subterrânea, tem seus efeitos sobre o aquífero, como no rebaixamento do nível freático, de 2 m no começo do século a 30-60 m, atualmente. Por outro lado, as camadas freáticas até 30-40 m sofreram poluição química e orgânica. A densidade dos poços acarreta os fenômenos de interferência, com prejuízos incalculáveis, devido à falta de legislação a respeito.

A alimentação das camadas sedimentares nos últimos anos não se faz de maneira direta através das precipitações. Isto deve-se à cobertura de asfalto e edifícios ao que se soma a camada argilosa superficial que impede a infiltração das águas de chuvas.

A única fonte de recarga parece ser os falhamentos no Embasamento Cristalino subjacente e que limitam a bacia sedimentar. Estas zonas tectônicas são condutores naturais de grandes quantidades de água à bacia.

A capacidade de condutibilidade hidráulica dos sedimentos permeáveis aumenta perto das zonas fraturadas, dentro e nas bordas da bacia.

Para avaliar e racionalizar a operação destes recursos hídricos importantes, faltam ainda dados quantitativos sucessivos para estimar as quantidades que entram e saem. Uma campanha intensiva é necessária para registrar todos os poços e sua exploração, controlar as flutuações dos níveis piezométricos, determinar os coeficientes hidráulicos e os balanços hídricos bem como as características hidroquímicas das águas.

c.2) **Bacia Terciária de Taubaté**

A bacia tectônica de Taubaté, com comprimento de 120 km e largura de 20 km, está bordada por rochas cristalinas que foram parte do Planalto Atlântico. A bacia está preenchida por sedimentos terciários, dos quais somente as camadas superiores de siltes, argilas, areias e cascalhos, pertencentes à Formação São Paulo, constituem o aquífero explorável. As camadas aquíferas terciárias, cuja espessura atinge 140 m, estão cobertas por aluviões quaternários. Apresentando forma lenticular, estas camadas são sobrejacentes às camadas impermeáveis de folhelhos e argilas e areias verdes, pouco fraturadas, da Formação Tremembé. O aquífero se estende de Jacareí a Tremembé, com área de cerca de 1.200 km².

A granulometria não apresenta homogeneidade e as areias passam de muito finas a muito grossas. Alguns ensaios de bombeamento indicam valores de transmissibilidade que variam entre 200 e 400 m²/dia, no conjunto das várias camadas atravessadas.

Os poços perfurados neste pacote aquífero produzem de 20 a mais de 150 m³/h, com capacidade específica maior que 10 m³/h/m. Utilizando-se métodos corretos no acabamento do poço, poderiam ser obtidas vazões bem maiores nas perfurações, com profundidade média de 150 m.

Os poços perfurados nos folhelhos e argilas da formação subjacente produzem água em vazões insignificantes.

A recarga do aquífero se efetua diretamente pelas águas pluviais, recebendo também contribuição do sistema de «polders» nas proximidades de São José dos Campos, sendo drenada diretamente para o rio, atuando o aquífero como reservatório regulador da vazão de base.

Definindo-se as dimensões do conjunto aquífero e obtendo-se uma série contínua de dados de pluviometria, fluviometria e de flutuações do nível estático, poderá ser avaliado o volume ativo do reservatório subterrâneo. Este valor é indispensável para a operação correta do aquífero, cuja capacidade é relativamente limitada.

d) **Aquíferos Litorâneos**

Os sedimentos arenosos que compõem as praias do Estado de São Paulo, entre Bertoga e Cananeia, com pequenas interrupções em Peruipe e Mongaguá, formam um aquífero cuja largura varia de 5 a 20 km, com espessura de 60 m. Estes arenitos, finos a grosseiros, cobrem ± 2.500 m² e são poucos explorados.

Embora existam centros importantes de consumo, como as cidades de Santos, São Vicente, São Sebastião e outras, as captações de água são principalmente superficiais.

Os poucos poços perfurados nesses depósitos abastecem hotéis e casas isoladas; tem profundidades geralmente reduzidas, não se notando ainda proximidades com a interfície água doce-água salgada do mar.

Os aquíferos costeiros são alimentados diretamente pelas chuvas e indiretamente pelos rios que descem do altiplano cristalino, ao norte. Supõe-se também que as falhas que atravessam o embasamento alimentam o aquífero.

Atualmente, o papel do aquífero dentro do sistema de abastecimento é insignificante, mas com o aumento da poluição dos rios, a sua importância adquirirá maior expressão.

Aquíferos Locais

Nesta categoria, se incluem as formações ou grupos que geralmente são impermeáveis, embora possuam extensão importante. As zonas que contém e conduzem água são limitadas e

se relacionam à tectônica (zonas de falhas), a ambientes de sedimentação (lentes de areia) e a mecanismos de dissolução (cavernas).

Embora os outros tipos de aquíferos estejam relacionados a certas unidades geomorfológicas, como os aquíferos regionais (Botucatu e Bauru) relacionados à «cuestas basálticas» e ao altiplano ocidental e os aquíferos regionais limitados (excetuando o Caiuá) relacionados ao altiplano Atlântico, em ambos os lados, os aquíferos locais estão distribuídos entre todas as unidades. No altiplano atlântico dominam os falhamentos no Embasamento Cristalino e se encontram as cavernas Karsticas (calcárias); na depressão periférica, localizam-se os horizontes arenosos do Grupo Tubarão e nas «cuestas basálticas» aparecem as falhas nos basaltos da Formação Serra Geral.

a) Zonas de falhamentos no Embasamento Cristalino

O Planalto Atlântico e a parte setentrional alta da faixa costeira, que cobrem aproximadamente 57.500 km², são constituídos por rochas magmáticas (granitos) e metamórficas (xistos, filitos, gnaiesses, quartzitos, etc.). Geralmente estas rochas compactas são impermeáveis, mas os eventos tectônicos que afetaram os maciços cristalinos, formaram sistemas de falhas e fraturas normalmente permeáveis. A água subterrânea percola estes sistemas abertos de falhas, fraturas, juntas, diáclases. A largura de zonas fraturadas varia entre poucos metros até mais de 1.500 m. A profundidade dos espaços abertos nas linhas tectônicas está por volta de 150 m, profundidade onde os espaços diminuem por compressão ou preenchimento. Parece que as brechas de falhas ou material fragmentário que ocorrem nas falhas, ajudam a manter condutibilidade hidráulica elevada.

Por outro lado, a cobertura alterada do cristalino apresenta elevado conteúdo argiloso.

A escassez de dados sobre a distribuição e extensão de falhamentos ou de eventual estudo estrutural detalhado antes da perfuração, resultam em condições extremas de produção, ou seja de, nula a mais de 50 m³/h. Os poços com vazão nula, são aqueles que perfuram rochas compactas, sem seccionar falhas.

Em vista da maior concentração da população, e da indústria se situar sobre o planalto cristalino, os poços nele perfurados têm importância relevante.

A profundidade dos poços varia entre 100 e 300 m.

Na cidade de São Paulo, no Embasamento Cristalino, poços de 200-300 m de profundidade

produzem até 25 m³/h, sendo vazões maiores mais raras.

No município de Santo André, um poço de 130 m de profundidade, perfurado pela Corner S/A localizada sobre uma falha, produz 100 m³/h com somente 40 m de rebaixamento. Em Sorocaba, poços situados sobre falhas no embasamento, produzem até 50 m³/h. Entretanto, não tem sido encontradas zonas produtivas nas bordas cristalinas do Vale do Paraíba, onde poços de 250 m, não produzem mais que 10 m³/h.

Poços rasos, de 20-60 m de profundidade e que atravessam somente a cobertura alterada, podem apresentar vazões de até 10 m³/h, em alguns lugares.

Devido à falta de normas técnicas e legislação sobre águas subterrâneas, não se mantém o distanciamento mínimo entre os poços. Nas zonas limitadas, como são os sistemas abertos de falhas, isto se reflete imediatamente nos fenômenos de interferência e rebaixamento do nível de água.

As zonas fraturadas são, praticamente, canais subterrâneos de drenagem para as águas infiltrantes provenientes das chuvas. Elas formam um conjunto de reservatórios naturais, que regulam a descarga nas cabeceiras dos rios. Além de seu papel regulador, as falhas alimentam os aquíferos sedimentares das bacias de São Paulo e de Taubaté. Outra parte d'água se escoia diretamente para o mar.

A localização das zonas e linhas promissoras exige a elaboração detalhada de mapas geológicos, apoiada por cuidadosa interpretação de fotos aéreas e levantamento geológico no campo. Para assegurar uma exploração eficiente, sem causar prejuízos, há que se adaptar normas legislativas baseadas em critérios técnicos corretos.

b) Calcários pré-cambrianos

Vários afloramentos isolados de calcários e dolomitos, estão dispersos dentro da sequência metamórfica do Grupo São Roque, na parte SW do Estado.

Sua extensão varia entre 20 e 150 km², com espessuras de até centenas de metros. Os calcários, de cor cinza, estão metaforizados por falhas e veios preenchidos por calcita e quartzo. As fraturas deram lugar à dissolução dos calcários, formando grandes cavernas (caverna do Diabo, Santana, Monjolinho).

Os calcários Kársticos, cujas características aquíferas são indiscutíveis, carecem de importância, devido a:

- 1) ocorrência em área chuvosa, com abundantes recursos hídricos superficiais ainda inproveitados;

- 2) a parte SW do Estado é a menos povoada e desenvolvida e as necessidades em água são insignificantes ainda;
- 3) os afloramentos calcários do Grupo São Roque são a única reserva para a indústria de cimento, cujas necessidades aumentam com o desenvolvimento do Estado. Parece razoável que estes poucos afloramentos sejam destinados a esta indústria e seus derivados.

c) Grupo Tubarão

O Grupo Tubarão, que data do carbonífero Superior, contém várias formações e «fácies», com predominância de siltitos, folhelhos e argilitos várvivos. Concentrações de tilitos e horizontes de areias são comuns e material clástico grosseiro (conglomerado) é menos frequente. As quatro formações que compõem o grupo (Aqui-daúna, Itararé, Rio Bonito e Palermo, segundo a Petrobrás) cobrem aproximadamente 20 500 km², somando mais de 1.300 m de espessura. A distribuição de horizontes arenosos é irregular, mas se pode observar que no centro e até a parte nordeste da depressão central (Limeira, Americana, Mogi-Guaçú), a «fácies» mais frequente é de siltitos, siltitos arenosos e arenitos muito finos. Da parte central para oeste são mais frequentes as «fácies» argilosas.

Os poços produtivos, cuja vazão varia entre 5 e 20 m³/h, estão localizados nas lentes e horizontes de areias e conglomerados, irregulares em extensão e distribuição. Dos 267 poços cadastrados do Tubarão, 62% dão 0,5 a 10 m³/h e 20% entre 10 e 20 m³/h. O Grupo Tubarão é cortado por inúmeras intrusões de diabásio, que por serem bastante fraturados, podem se constituir também em aquíferos locais. As intrusões de diabásio, em forma de sills, diques, etc. podem chegar a uma espessura de 200 m (poços Araguá e Lins) ou mais de 250 m (Sorocaba, Piracicaba, etc.). Em Sorocaba um poço raso de 43 m no diabásio fraturado deu 60 m³/h. Por outro lado, sills de diabásio podem impedir o fluxo subterrâneo ou, em outros casos, confinar camadas permeáveis subjacentes (Artemis, Paulina). Em profundidade, observam-se processos de salinização (Artemis).

Geralmente, o Grupo Tubarão oferece somente possibilidades locais de exploração de águas subterrâneas em lentes clásticas ou tilitos ou então em fraturas dos diabásios.

d) Falhas e zonas vesiculares nos derrames basálticos da Formação Serra Geral

Os derrames basálticos da Formação Serra Geral, que datam do Jurássico-Cretáceo, variam de espessura, entre 50 m na parte nordeste da

bacia do Paraná até mais de 1.500 m em seu centro (Poço de Presidente Epitácio, da Petrobrás), onde se encontraram mais de 30 derrames. Em geral, a parte superior de cada derrame é vesicular. Arenitos intercalados, cuja espessura comumente não ultrapassa algumas dezenas de metros, encontram-se ocasionalmente entre os derrames (arenitos intertrapeanos).

Os derrames basálticos não constituem, por si, camadas aquíferas e somente ao longo das linhas de falhas e em certos horizontes vesiculares ocorrem condições de produção de água subterrânea. As vazões médias variam entre 10 e 25 m³/h (Nipoã). Vazões maiores são raras, como em Palmital, onde um poço com 150 m de profundidade, situado sobre uma zona de falhas com 400 m de largura, produz aproximadamente 100 m³/h. No total, a grande variação nas características hidráulicas dessas zonas de falhas, é demonstrada nas vazões específicas, cujos valores extremos situam-se entre 0,08 a 55 m³/h/m.

As possibilidades de sucesso na locação de poços nessas zonas fraturadas dependem, como no caso do Embasamento Cristalino, de um estudo minucioso e detalhado da geologia, através da interpretação de fotos aéreas e realização de trabalhos de campo. Todavia, sempre se tratará de fontes locais e não de um fenômeno regional.

DISTRIBUIÇÃO DE POÇOS

Embora as perfurações de poços datem do começo do século, não se exerceu nenhum tipo de acompanhamento técnico, resultando em informações muito incompletas, com relação ao inventário de poços. Devido a esse fato, ao avaliar o número total de poços do Estado, somente se pode introduzir ordem de grandeza. Estima-se que existem no Estado de São Paulo cerca de 5 000 a 6.000 poços, sendo que a metade deles se localiza no Grande São Paulo.

Durante a presente fase de estudo, conseguiram-se informações sobre cerca de 2.500 poços, aproximadamente 50% do número total estimado (Mapa IV.3.2.). Os dados foram obtidos nos arquivos de entidades e companhias estatais (Instituto Geográfico e Geológico, Petrobrás) e companhias particulares de perfuração. As informações compiladas têm caráter preliminar, dando idéias muito superficiais sobre o estado de exploração dos recursos hídricos subterrâneos e servindo como ponto de partida para seu estudo sistemático e completo. Os dados elaborados foram condensados em listas provisórias de cadastro que, junto a perfis geológicos e mapas correspondentes, estão arquivados na Seção de Água Subterrânea do DAEE.

Os poços cadastrados foram localizados, de acordo com as informações obtidas, em mapa do Estado de São Paulo, na escala de 1:250.000. Cada poço cadastrado foi numerado, de acordo com o padrão adotado, que inclui o número de folha do mapa topográfico na escala 1:50.000 (numeração do IBGE), onde está localizado o poço e seu número de ordem dentro desta folha (por exemplo: o número do primeiro poço cadastrado na cidade de Ribeirão Preto é 23-G-I-1-1, sendo os quatro primeiros números e letras correspondentes ao número do mapa).

Os dados obtidos foram reunidos segundo regiões administrativas, aquíferos, profundidades e vazão de poços no anexo 4.

Como resumo desta elaboração os 2.500 poços cadastrados foram distribuídos segundo regiões e aquíferos na tabela IV.3.1.

A profundidade dos poços é função do tipo de aquífero e profundidade do nível de água. A distribuição dos poços segundo a profundidade e aquíferos, encontra-se na tabela IV.3.2.

Mais de 50% dos poços no Estado têm profundidade entre 100 e 200 m, sendo que uns 15% têm profundidade maior de 200 m.

Os poços estão geralmente equipados com bombas submersas, bombas de eixo prolongado ou compressores (Air Lift), acionados por energia elétrica.

A vazão dos poços, em geral, é pequena, devido à baixa permeabilidade das capas aquíferas, assim como perdas nas entradas de água do próprio poço.

A variação na vazão dos poços, segundo os aquíferos, encontra-se na tabela IV.3.3.

Dos poços cadastrados aproximadamente 70% têm vazões menores que 20 m³/h. Destes, cerca de 31 poços (a maioria no cristalino) têm vazões quase nulas. Por outro lado, somente 1% dos poços tem vazões maiores que 100 m³/h.

As vazões pequenas são resultantes da localização inadequada em camadas impermeáveis, penetração insuficiente nos aquíferos e acabamento inadequado dos poços.

Levando em conta que estes dados estatísticos se referem somente a uns 50% dos poços existentes no Estado, pode-se com certa precaução, projetar a distribuição de todos os poços. Segundo estas considerações estima-se que a exploração atual de águas subterrâneas em todo o Estado varia de 500 a 600 MMC/ano (*). É óbvio que este estado de conhecimento deixa

muito a desejar, podendo ser modificado e ser mais precisado somente após a realização de trabalhos de campo.

QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os dados disponíveis sobre a qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo são esporádicos e esparsos. Dos existentes, a maioria trata da potabilidade, dando ênfase aos valores da turbidez, cor, pH, sólidos totais, dureza e alcalinidade e conteúdo em cloretos, ferro, silício, etc.

Com exceção de determinados locais como, por exemplo, praias e ilhas, camadas aquíferas profundas no Grupo Tubarão, folhelhos terciários da Bacia de São Paulo, tem-se que a qualidade d'água é boa e potável. Vários poços, construídos inadequadamente, produzem água com turbidez maior que a permitível.

Dentre os valores predominantes destacam-se os seguintes:

- resíduo seco = cerca de 100 mg/l
- alcalinidade bicarbonática = cerca de 100 mg/l
- dureza total = menos de 100 mg/l
- cloretos = menos de 10 mg/l.

Nas praias e ilhas exploradas pelo turismo, as águas analisadas indicam mistura com água do mar. As águas em profundidades maiores que 200 m, em certas zonas do Grupo Tubarão (Artemis) estão salinizadas, indicando elevados teores em enxofre e fluor. Nos folhelhos pirobetuminosos do Terciário da Bacia de Taubaté, encontra-se na água, gás sulfídrico. Na Bacia de São Paulo, as camadas superficiais até 40 m de profundidade, estão poluídas por esgotos industriais e urbanos.

Os resultados das raras análises efetuadas para poços nos aquíferos regionais Botucatu e Bauru, também indicam baixo conteúdo de sais. O aquífero Botucatu, em Ribeirão Preto, contém quantidade insignificante de cloretos e sulfatos e um resíduo seco baixo. As águas são bicarbonatadas (Sinelli, 1970). O conteúdo de sais deste aquífero aumenta com a direção do fluxo, porém, ignora-se os valores e o ritmo desta mineralização.

O único trabalho realizado no Estado, com relação aos tipos de águas subterrâneas, se limita a Ribeirão Preto (Sinelli, 1970). Para poder acompanhar o desenvolvimento da água subterrânea, necessita-se empreender uma ampla campanha de análises químicas bem distribuídas em toda extensão dos aquíferos regionais.

(*) Milhões de metros cúbicos.

Tabela IV.3.1 — Número de poços cadastrados nas diferentes regiões

Região	Botucatu	Baurú (*)	Sedimentos Litorâneos	Sedimentos Terciários	Baurú + Basaltos	Falhas no Basalto	Grupo Tubarão (**)	Falhas no embasamento cristalino (***)	Sem referência	Total
1	—	—	—	374	—	—	—	505	48	927
2	—	—	11	—	—	—	—	33	4	48
3	—	—	—	149	—	—	—	8	—	157
4	19	1	—	—	—	10	143	44	3	220
5	6	—	—	—	—	7	164	151	—	328
6	145	34	—	—	—	54	—	—	10	254
7	21	65	—	—	11	11	—	—	—	97
8	1	107	—	—	—	18	—	—	—	128
9	—	52	—	—	2	63	—	—	2	117
10	—	133	—	—	—	1	—	—	—	134
11	2	40	—	—	1	12	—	—	—	55
	194	432	11	523	14	176	307	741	67	2.465

(*) inclui o aquífero limitado de Caiuá. (**) inclui poços no Grupo Estrada Nova.

(***) não existem informações sobre poços nos calcários pré-cambrianos.

Nota: Não existem informações fidedignas sobre poços na Formação Furnas.

Tabela IV.3.2 — Profundidade de poços, segundo os aquíferos

Profundidade (m) Aquíferos	< 50	51-100	101-200	201-300	> 300	Sem referência	Total
	Botucatu	1	55	112	17	6	3
Bauru	10	87	261	28	—	46	432
Sedimento litoraneos	2	6	3	—	—	—	11
Sedimentos terciarios	21	128	298	68	4	4	523
Bauru e Basaltos	—	3	7	4	—	—	14
Falhas no Basalto	64	18	64	22	3	5	176
Tubarao	18	60	150	66	13	—	307
Falhas no Embasamento Cristalino	23	163	417	131	2	5	741
Sem referncia	—	10	29	19	1	8	67
Total	139	530	1.341	355	29	71	2.465
Porcentagem	5,6	21,6	54,3	14,3	1,2	3,0	100%

Tabela IV.3.3 — Vazões dos poços segundo os aquíferos

Aquífero	Vazão (m ³ /h)							Sem referência	Total
	< 5	5-10	10-20	20-50	50-100	100-200	> 200		
Botucatu	12	25	27	60	48	6	4	12	194
Baurú	54	111	111	77	23	1	—	55	432
Sedimentos litorâneos	3	—	2	2	2	—	—	2	11
Sedimentos terciários	115	109	101	96	32	7	1	62	523
Baurú + basaltos	2	3	2	4	—	—	—	3	14
Falhas no basalto	29	20	29	25	64	—	—	9	176
Tubarão	100	81	60	35	6	1	—	24	307
Falhas no Embasamento Cristalino	334	206	115	52	5	1	—	28	741
Sem referência	19	20	11	6	1	—	—	10	67
Total	668	575	458	357	181	16	5	205	2.465
Porcentagem	27,1	23,3	18,5	14,5	7,3	0,7	0,2	8,4	100%

Além dos estudos regionais, problemas locais como a prevenção de poluição, controle de intrusão da água do mar, salinização em profundidades dos aquíferos confinados locais, etc. são objeto de estudos adicionais necessários para oferecer soluções adequadas para enfrentar a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

O principal divisor hidrográfico no Estado de São Paulo é também o divisor das águas subterrâneas. As águas freáticas nas falhas do Embasamento Cristalino, ao sul do divisor, e os sedimentos litorâneos, drenam-se diretamente ou por rios ou por fontes, para o Oceano Atlântico. As águas subterrâneas restantes nos diversos aquíferos escoam-se em direção ao rio Paraná.

As águas freáticas nas falhas e na parte superficial alterada do Embasamento, na vertente norte do divisor principal, localizado na região mais chuvosa do Estado, drenam-se por fontes que constituem a descarga de base contínua das cabeceiras dos rios principais (Paranapanema, Tietê, Paraíba, Pardo e Rio Grande). Por serem as rochas cristalinas muito compactas e não permitirem, exceto nas zonas fraturadas, uma infiltração profunda, surgem as enchentes como resultado imediato das chuvas intensas. Os grandes volumes regulados saem de reservatórios locais e isolados, produtos de denudação e reelaboração das camadas alteradas das rochas cristalinas. Por baixo da profunda bacia sedimentar do Paraná, o compacto Embasamento Cristalino é praticamente impermeável, desprovido de qualquer escoamento subterrâneo. Devido a isto, todo o planalto cristalino é drenado inteiramente pelos rios ou recarrega moderadamente os aquíferos locais (Grupo Tubarão) na Depressão Periférica.

O Grupo Tubarão, que sobrejaza discordantemente ao Embasamento Cristalino, é composto por materiais finos caracterizados por lenta drenagem e elevada capacidade de retenção. Como os aquíferos locais têm a forma de lentes delgadas de areia dentro da massa silto-argilosa, supõe-se que não existe uma infiltração profunda e a percolação é de preferência lateral. Esta suposição é reforçada pela salinidade de águas encontradas a profundidades maiores que 200 m (Artemis). Em contraste com o Embasamento Cristalino, o relevo do Grupo Tubarão é suave, formado por ondulações baixas e pendentes moderadas, expostas à erosão intensiva. Por isso e por suas características semi-permeáveis, a maior parte do escoamento é superficial e direto (enchentes), complementando a drenagem hipodérmica moderada.

O Grupo Estrada Nova, argiloso, separa do Grupo Tubarão, a formação arenosa e permeável do Botucatu. As argilas do Grupo Estrada Nova formam a base impermeável do aquífero Botucatu, de importância regional.

O aquífero Botucatu aflora com forma semicircular, acompanhando os limites da Bacia do Paraná, desde o rio Paranapanema até o Rio Grande. Esta faixa de afloramentos continua no Estado do Paraná. Os arenitos aflorantes, os quais formam ondulações suaves, estão cobertos por capas delgadas de solo, com uma capacidade limitada de retenção. Isto permite uma infiltração acentuada das precipitações e reduz, por outro lado, a contribuição direta às correntes superficiais. Uma parte, ainda não determinada, da infiltração mencionada nos afloramentos reaparece nos rios que os atravessam, enriquecendo seu escoamento de base.

A divisão entre a drenagem que volta aos rios e a recarga profunda do aquífero Botucatu até sua parte confinada, é função da relação entre o nível freático e a topografia. Há base para se supor que toda a extensa parte confinada do aquífero Botucatu esteja saturada e que exista um estado de equilíbrio entre as saídas e a recarga. As condições do equilíbrio hidráulico mencionado, ou seja, a dimensão da recarga profunda, dependem da possibilidade de saída. No caso de exploração intensiva do aquífero, modificam-se as condições de equilíbrio, aumentando a recarga profunda e diminuindo parte dos excedentes que alimentam os rios.

Supõe-se que a direção geral do fluxo subterrâneo é norte e noroeste para os limites do Estado. Localmente, a direção do fluxo está condicionada pelas estruturas predominantes.

Os derrames basálticos da Formação Serra Geral cobrem e confinam o Arenito Botucatu. Os basaltos, afetados por vários sistemas de falhas, formam «cuestas». Os afloramentos estão cobertos por «terra-roxa», de espessura variável, com capacidade de retenção similar à do Grupo Tubarão. Os basaltos são compactos e impermeáveis, sendo o escoamento subterrâneo limitado a partes menos profundas das zonas fraturadas, drenadas geralmente pelos rios que as atravessam.

O extenso aquífero do Bauru (mais de 100.000 km² no Estado) é geralmente freático. O relevo, de ondulações amplas e baixas, reflete a estrutura de blocos do «substratum», assim como as direções paralelas dos rios principais. Os tributários indicam, por outro lado, o sistema secundário de falhas. O solo, predominantemente siltoso, tem uma capacidade de retenção média. A formação é afetada por processos intensivos de erosão.

A direção geral do fluxo no aquífero Bauru, é NW-W até o rio Paraná, que constitui a base regional de drenagem. O aquífero é drenado, principalmente, pelos afluentes dos rios principais que os intersectam. As direções de drenagem local são determinadas pelas condições topográficas chegando, em muitos casos, a serem perpendiculares à direção geral de drenagem. A maior parte da água flue pelo leito dos rios, deixando uma menor parte no subsolo, seguindo a direção geral do escoamento.

VOLUMES ESTIMADOS DOS AQUIFEROS

Os aquíferos do Estado de São Paulo, desde os regionais, com extensões imensas, até os locais, limitados a zonas fraturadas, são em sua maioria alimentados pelas chuvas. O mecanismo da recarga natural é função da chuva, evapotranspiração, tipo e espessura de solos, vegetação e profundidade do nível freático. Dependendo de muitos e diferentes fatores, a infiltração ou recarga varia bastante.

No estado atual de conhecimento, pode-se tratar somente de estimar a infiltração de uma maneira geral, baseando-se principalmente em características de escoamento de base dos rios, os quais por sua vez são alimentados pelos aquíferos (Mero, 1969). A maior recarga ocorre na estação chuvosa entre outubro e março. Na estação seca (inverno) as chuvas individuais não são suficientes para alimentar as camadas aquí-

feras. Nas estimativas, a quantidade de água subterrânea que flue, depende de um equilíbrio dinâmico entre a geometria e as características hidráulicas dos aquíferos e sua recarga. Segundo isto é, a água que se infiltra no aquífero imediatamente após as chuvas aumenta seu potencial, refletido pela elevação do nível piezométrico, aumentando o escoamento instantâneo. Exceituando-se os aquíferos do Botucatu, Furnas e os sedimentos litorâneos do Estado, este escoamento encontra seu caminho no exterior e alimenta os rios que os atravessam. Na estiagem, os aquíferos continuam alimentando o fluxo de base dos rios, com seu próprio armazenamento.

Seguindo este modelo, apresenta-se a seguir, valores de escoamento total, a recarga transitória que compõe 50 a 70% do escoamento total e, em certos aquíferos, a recarga profunda que tem sua saída fora dos limites do Estado ou diretamente no mar.

O potencial hídrico anual do Estado foi estimado em 100 bilhões de metros cúbicos; destes, um terço escoou na superfície como descargas torrenciais e os 2/3 restantes são transitórios pelos diversos aquíferos.

Os valores estimados na Tabela IV.3.4 são aceitáveis em geral, pois indicam uma recarga de 35.000 MMC/ano em boa concordância com os escoamentos medidos. As descargas transitórias dividem-se, quase igualmente, entre o Embasamento Cristalino e proximidades e os aquíferos regionais. Evidentemente, estas estimativas têm caráter muito preliminar e são repre-

Tabela IV.3.4 — Estimativa de recarga em aquíferos regionais e regionais limitados

Aquífero	Extensão (km ²)	Precipitação mm/ano	Escoamento total mm/ano	Recarga transitória — mm/ano	Recarga profunda	Recarga transitória MMC/ano	Recarga profunda MMC/ano
Botucatu	16.665	1.300	450	320	80	6.320	1.335
Bauru	102.070	1.200	370	260	20	26.500	2.040
Sedimentos Terciários — Bacia Taubaté	1.200	1.400	475	370	—	445	—
Furnas	1.135	1.300	500	250	50	285	55
Sedimentos Litorâneos	2.475	1.600	60	500	400	1.240	990
Total	123.545	—	—	—	—	34.790	4.320

sentadas aqui somente com finalidade de se obter uma idéia geral do potencial hídrico subterrâneo do Estado e da importância relativa dos aquíferos regionais.

Deve-se assinalar que, apesar do aquífero Bauru conter grandes quantidades de águas transitórias, a exploração em si é limitada, devido a litologia e granulometria menos favorável que no Botucatu, com relação aproximada de 1 para 10.

Não foram incluídos nestas avaliações os aquíferos de tipo local, pois não se pode definir a extensão e localização das médias receptoras. Com relação à bacia sedimentar de São Paulo, quase toda sua superfície receptora está coberta pela cidade. Atualmente, não se pode analisar a recarga lateral presumida e por isso não foi considerada nesta fase.

Além disso, os aquíferos regionais contêm quantidades enormes de água em armazenamento. Sendo bastante elevadas as quantidades estimadas como recarga, considera-se que no estado inicial de exploração dos recursos hídricos subterâneos, não é relevante se pensar na necessidade de utilizar as reservas não renovadas, com exceção da Bacia de São Paulo.

Apesar das grandes quantidades estimadas nas unidades aquíferas, a localização de pontos de extração requer cautela, por razões estruturais e litológicas locais, objeto de estudos detalhados e bem planejados.

TÉCNICA DE PERFURAÇÃO

Segundo uma recente estatística, existem em todo o Estado de São Paulo cerca de 150 a 180 firmas perfuradoras e o número de máquinas de perfuração pode chegar a 500. As companhias variam entre pequenas, que possuem uma só máquina de construção caseira, até companhias que possuem mais de 10 máquinas.

As máquinas existentes estão distribuídas do seguinte modo:

- a) percussão — 21%;
- b) rotativa — 53% (destas 25% com «rock bit» e 28% com «granalha»);
- c) mistas — 26%.

O potencial de perfuração no Estado é bastante elevado, chegando a mais de 2.000 poços por ano.

O diâmetro inicial dos poços perfurados, raramente ultrapassa 10"; passando para 8" e 6" com o aumento da profundidade.

A cada aquífero se adapta o método de perfuração, da maneira que se apresenta, junto com o custo da perfuração e tubulação, na tabela IV.3.5.

O diâmetro e, conseqüentemente, o ritmo da perfuração é função das máquinas existentes, as quais são em sua maioria, pequenas. Devido

Tabela IV.3.5 — Métodos e custo de perfuração atual

Aquífero	Método de perfuração	Custo da perfuração incluindo tubulação e ensaio de bombeamento	Diâmetro de perfuração	Diâmetro do revestimento
		Cr\$/m	(polegada)	(polegada)
Sedimentos terciários e quaternários	Percussão e Rotativa	200-300	10-26	6-8, raramente 10
Grupo Bauru	Percussão	150-260	10-14	6-8
Basaltos Formação Serra Geral	Percussão	280-300	6-8	6-8
Formação Botucatu	Rotativa e Percussão (*)	200-300	8-14	8-10
Grupo Tubarão	Rotativa a granalha e mistas	200-250	6-10	6-8
Rochas Cristalinas	Percussão, raramente rotativa	200-300	6-8	6-8

(*) até 300 m de profundidade

ao custo elevado da tubulação, utiliza-se principalmente para revestimento, tubos de até 8", sendo as tubulações de 10" bastante raras. Em Sorocaba, o SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) utiliza revestimento plástico de «PVC» rígido. As vezes, no caso de rochas compactas como os basaltos e granitos ou em arenitos bem cimentados (Bauru), não se revestem os poços. Por ser pequeno o diâmetro do revestimento, não há espaço para a introdução de medidores de níveis de água, a fim de se realizar o controle piezométrico. Além disso, quando o diâmetro permite esta operação, nem sempre se tem espaço para a medida.

O custo de perfuração aumenta com o diâmetro e profundidade maior que 300 m, pela necessidade de se trocar a máquina por outra, de maior capacidade.

Geralmente, adapta-se o método de percussão às camadas sedimentares rasas, até 100-200 m e às rochas compactas em toda profundidade. Na Formação Botucatu, onde o arenito é ligeiramente cimentado, somente o método de rotação pode ser aplicado.

No interior do Estado de São Paulo, predominam os tubos ranhurados, que as firmas perfuradoras, segundo seus critérios, empregam como filtros. Estes tubos ranhurados estão incluídos no custo dos poços.

Os filtros são utilizados principalmente na Grande São Paulo e, entre eles, predominam os de tipo Nold e Layne e, com menor frequência, os de tipo Hagusta, Johnson e Cook. Sendo o custo destes filtros elevado e cobrado como despesa extra, seu emprego se restringe sempre às grandes companhias, com utilização muito limitada dos filtros em aço inoxidável. O diâmetro dos filtros varia entre 6 e 8 polegadas (Tabela IV.3.6.).

Tabela IV.3.6 — Custo de filtros no Estado de São Paulo

Tipo de filtro	Cruzeiros por metro linear de filtro			
	Aço galvanizado		Aço inoxidável	
	6"	8"	6"	8"
Nold	150	180	200	250
Layne	150	180	200	250
Hagusta	600	800	—	—
Johnson e Cook	2.000	2.300	2.800	3.200

Em Sorocaba, o tubo plástico de PVC rígido, classe 12 a 20, é ranhurado e custa Cr\$ 30,00/metro linear ($\varnothing = 8''$). Em certos casos, devido a problemas em de empregar filtros eficientes na Formação Botucatu, é comum se deixar o poço sem revestimento abaixo dos 40 metros de profundidade. A instalação dos filtros não é precedida de «Well log» e, em geral, as secções de filtro ou são todas colocadas na porção inferior do poço ou são espaçadas (geometricamente ou com critérios subjetivos) ao longo do revestimento.

Quando se aplica tubos ranhurados nem sempre se provê o «pré-filtro» e quando este é usado, em geral se constitui de pedregulho de rio não selecionado. Todos os filtros aplicados são complementados com pré-filtro («sand pack» e «gravel pack»), embora nem sempre o material granular seja selecionado de acordo com a granulometria do terreno atravessado e nem sempre se constitua por cascalho escolhido. Os filtros nem sempre são dimensionados de acordo com a granulometria do terreno e do pré-filtro, vazão e velocidade de entrada d'água (a qual quase sempre excede o limite de 3 cm/seg), e qualidade da água (às vezes incrustante ou corrosiva).

O desenvolvimento dos poços quase sempre é negligenciado e quando ele se faz necessário, se restringe ao «back washing». Raramente se aplica, quando é possível, «surging», «dry ice», tratamento químico e tratamento físico químico («surging» com polifosfatos).

A deficiência na construção de poços, devido a considerações econômicas e ignorância, resulta em que a água produzida contém elevado teor de areia (mais de 10 g/m³). Esta areia danifica as bombas (principalmente as submersas) e daí a predileção na utilização de compressores para bombeamento. Estes requerem construção de caixas de decantação (geralmente tipo «chicana»).

Esta situação, que prejudica também as vazões dos poços, acaba conduzindo à destruição e inutilização dos poços, bombas e rede de abastecimento, acarretando conclusões errôneas na escolha da fonte de abastecimento.

Somente uma grande campanha de esclarecimento poderá mudar a atitude dos usuários de água, que chegarão à conclusão de que economias exageradas resultam somente em prejuízo para si mesmos. A localização de poços segundo critérios geológicos bem estudados e com o emprego de técnicas corretas para a perfuração e construção, podem melhorar consideravelmente as quantidades e qualidade da água obtida, com custo reduzido a curto e longo prazo.

Tabela VI.1 — Classificação das Condições do Abastecimento de Água (Baseada em dados do FESB de 1969)

Região	Número de Municípios			Canalização		Reservatórios		Domicílios			Recursos de água		
	Total	Com Abastecimento	Sem Abastecimento	Adutora	Rede de Distribuição	Número	Capacidade m ³	Total	N.º de Ligações	% de Ligações	Rios ou Corrent.	Poços	Fontes
1 *	36	25	11	85	1.736	83	108.000	303.304	137.560	45	23	2	—
2	23	19	4	213	1.030	27	42.000	133.122	93.617	70	19	—	—
3	32	31	1	182	552	64	21.000	82.938	71.583	86	25	3	3
4	59	54	5	242	901	154	64.000	148.228	120.308	81	43	11	—
5	83	81	2	259	1.586	158	70.000	186.228	153.521	82	67	10	4
6	80	76	4	294	1.920	202	87.000	213.863	173.103	80	35	37 **	4
7	38	30	8	107	541	83	24.000	45.340	40.040	88	16	13	1
8	85	57	28	100	861	120	21.000	105.034	64.537	61	14	43 ***	—
	37	23	14	29	314	43	9.000	56.907	37.918	66	6	17	—
10	50	26	24	33	426	58	18.000	47.491	28.065	59	5	21	—
11	47	36	11	108	796	100	36.000	77.481	59.889	77	22	14	—
Total	570	458	112	1.652	10.663	1.092	500.000	1.399.936	980.141	70	275	171	12

* Não inclui o Município de São Paulo

** A maioria dos Poços penetram no aquífero Botucatu

*** Quase todos os poços estão no aquífero Bauru

ABASTECIMENTO DE AGUA — PRESENTE E FUTURO

Este capítulo fornecerá uma idéia geral da situação atual relativa ao abastecimento de água nas várias regiões do Estado, demonstrando as tendências do desenvolvimento dos recursos relacionados com a água subterrânea nos próximos anos e analisará o custo do desenvolvimento dessa água no futuro.

SITUAÇÃO ATUAL DO ABASTECIMENTO DE AGUA

Recentemente, foi realizada uma campanha intensiva visando a coleta, classificação e análise de dados, com objetivo de avaliar as condições do abastecimento de água nos 570 municípios do Estado (excluindo a capital). As informações básicas foram obtidas de questionários preparados e preenchidos pelo F.E.S.B. (Fomento Estadual de Saneamento Básico), em colaboração com os vários Municípios interessados. (Mapa VI.1).

A maioria das informações obtidas, detalhadas e precisas serão, sem dúvida, de grande utilidade durante o planejamento e o estágio de estudos detalhados; neste ponto, um quadro resumido servirá para dar uma visão geral da situação de água.

Vários pontos de interesse, demonstrados na tabela VI.1, serão discutidos aqui, tanto pela sua contribuição na descrição geral da situação atual, como pelo seu papel na escolha da região em que deverá ter início o estudo hidrogeológico detalhado.

a) Aproximadamente 20% do número total de municípios (112 de 570), não possui rede pública de abastecimento de água. A maioria dessas cidades têm porte relativamente

pequeno, porém existem mais de 15 cidades com população superior a 20.000 habitantes, as quais não possuem rede pública de abastecimento de água.

- b) Nos municípios que possuem rede pública de abastecimento de água, apenas 70% das casas estão ligadas ao sistema.
- c) O abastecimento da água das casas não ligadas à rede é normalmente feito pelo sistema de bombeamento individual de poços rasos, locais, cuja água é de qualidade duvidosa, especialmente sob o ponto de vista sanitário.
- d) O volume total diário de armazenamento, considerando os reservatórios de todos os municípios do Estado, é de cerca de meio milhão de m³. O volume de armazenamento unitário varia de um pequeno tanque de 100 m³ a um reservatório de concreto de 5.000 m³, sendo o tamanho médio dos reservatórios de aproximadamente 500 m³. A capacidade de armazenamento não inclui os reservatórios nas estações de tratamento. Mesmo não se entrando em cálculos e análises minuciosos, constata-se que a atual capacidade de armazenamento está bem longe de ser satisfatória.
- e) Quase 40% dos municípios (171 dos 458) que possuem rede pública de abastecimento de água, utilizam água proveniente de poços. Indubitavelmente a tendência é depender cada vez mais dos poços para fins de abastecimento.

TENDENCIA DA UTILIZAÇÃO DE AGUA SUBTERRANEA

A tabela VI.2 fornece o número de poços (aproximadamente 1.500, cujos dados são válidos) construídos durante as quatro últimas dé-

Tabela VI.2 — Número de poços perfurados

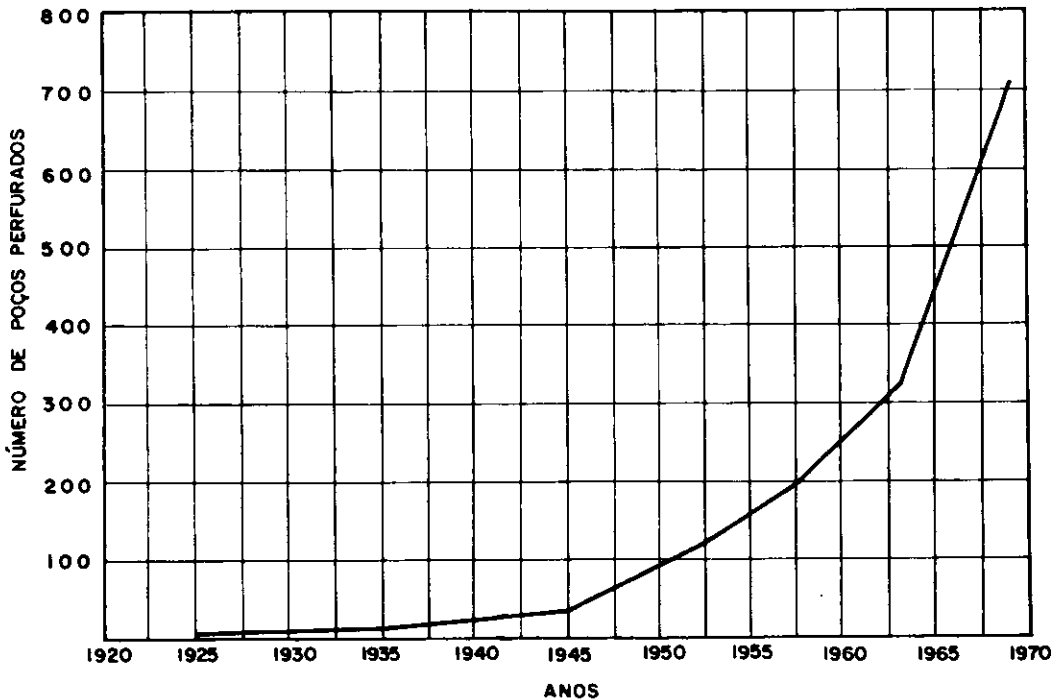
Período	Grande São Paulo	Interior	Total	Média p/ano
1921-1930	1	4	5	1
1931-1940	1	13	14	2
1941-1950	11	32	43	4
1951-1955	55	80	135	27
1956-1960	113	103	216	43
1961-1965	159	185	344	69
1966-1970	356	376	732	146
	696	793	1.489	

cadadas, demonstrando claramente a tendência do desenvolvimento no uso da água subterrânea.

Embora o número de poços apresentados na tabela VI.2 constitua apenas cerca de 30% do número total existentes no Estado de São Paulo, o gráfico VI.1 demonstra que existe tendência evidente em se explorar a água subterrânea.

de abastecimento tanto para uso municipal como industrial, está aumentando em marcha acelerada, havendo condições para garantir futuramente continuidade dessa tendência. Algumas das explicações que justificam a utilização crescente de água subterrânea, podem ser encontradas nos itens seguintes:

GRÁFICO VI.1 - DIAGRAMA-TENDÊNCIAS RECENTES DE PERFURAÇÕES DE POÇOS



CUSTO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com a finalidade de se dar uma idéia geral dos custos de produção da água subterrânea dos diferentes aquíferos, bem como para comparar esses preços entre si, foram feitas estimativas preliminares, baseadas nos preços de mercado, considerando a perfuração, o equipamento, etc. Essas estimativas figuram nas tabelas VI.3 e VI.4.

Deduz-se da análise de custo executada, que o preço da produção de 1 milhão de metros cúbicos por ano, no aquífero Botucatu, é mais ou menos o mesmo, à despeito da profundidade do aquífero com relação à superfície. Isto advém do fato de que, quanto mais profundo o aquífero, mais produtivo ele se torna, de tal forma que o maior custo na perfuração é compensado por uma vazão maior.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que a exploração da água subterrânea, com propósitos

- Um grande número de municípios, especialmente os menores, estão consideravelmente distantes de qualquer curso d'água superficial, de tal forma que a adução da água de rios para a cidade, torna-se mais onerosa que o abastecimento através de água subterrânea proveniente de poços locais.
- Com o desenvolvimento industrial, tanto no Grande São Paulo como no Interior, a poluição da água de superfície, em alguns rios, torna-se cada vez mais intensa, implicando num tratamento dispendioso e complexo.
- O desvio de água dos afluentes dos rios como por exemplo, o Tietê e Piracicaba, para suprir as necessidades do Grande São Paulo ou para gerar eletricidade, pode ter como consequência uma corrente baixa e insuficiente para enfrentar todas as demandas na época das secas.
- Há uma grande dificuldade, especialmente nas cidades menores, em se obter mão-de-obra especializada para operar e manter os

Tabela VI.3 — Custo de Produção de Água Subterrânea do Aquífero Botucatu

	ESPECIFICAÇÕES	REGIÕES			11	OBSERVAÇÃO
		4-5	6-7	8-9-10		
DADOS TÉCNICOS	Profundidade do poço (m)	100-200	150-500	700-1.200	Esta Região apresenta várias possibilidades de Perfuração — Custo dependeria da locação	supondo 7.000 h/ano
	Profundidade Nivel Estático (m)	10-30	60-0	Artesiano		
	Diâmetro (pol.)	8	10-18	18		
	Vazão Aproximada (m ³ /h)	20-50	50-250	300-400		
	Vazão Anual (m ³)	250.000	350.000-1.750.000	2.100.000-2.800.000		
	Rebaixamento Aproximado (m)	30-60	40	30-50		
	Recalque Total (m)	90	130-70	60-80		
Potência Instalada Aproximada (HP)	20	35-90	90-160		supondo 3 atmosferas de pressão	
CUSTO (Cr\$)	Custo de Construção do Poço	23.000-46.000	36.000-210.000	300.000-465.000		
	Custo do Equipamento	20.000	35.000-90.000	90.000-160.000		
	Custo da Casa de Bomba	10.000	10.000	10.000		
	Imprevistos 25%	13.000-19.000	20.000-77.000	100.000-160.000		
	Custo Total do Poço	66.000-95.000	101.000-387.000	500.000-795.000		
	Custo por 10 ⁶ m ³ por ano	260.000-380.000	290.000-220.000	240.000-280.000		

* Em parte da Região 7, a profundidade do poço pode exceder 700 m. O custo da produção neste caso, seria similar aos da Região 8-10.

Tabela VI.4 — Custo de Produção da Água Subterrânea em Outros Aquíferos

Especificações	Aquíferos	Sedimentos Terciários (Região 3)	Bauru	Falhas nos Basaltos no Embasamento Cristalino	Observação
DADOS TÉCNICOS	Profundidade do Poço (m)	150-200	100-150	150-200	
	Profundidade Nível Estático (m)	10-30	10-60	5-60	
	Diâmetro (pol.)	8	8	8	
	Vazão Aproximada (m ³ /h)	150-50	50-10	20-5	
	Vazão Anual (m ³)	1.050.000-350.000	350.000-70.000	140.000-35.000	Supondo 7.000 H/ano de Bombeamento
	Rebaixamento Aproximado (m)	10-30	20-70	50-100	
	Recalque Total (m)	50-90	60-160	85-190	Supondo 3 atmosferas de pressão no p.
Potência Instalada Aproximada (HP)	40	20	15		
CUSTO (Cr\$)	Custo Construção do Poço	35.000-46.000	23.000-36.000	36.000-60.000	
	Custo do Equipamento	40.000	20.000	15.000	
	Custo da Casa da Bomba	10.000	10.000	10.000	
	Imprevistos — 25%	21.000-24.000	13.000-16.000	15.000-21.000	
	Custo Total do Poço	106.000-120.000	66.000-82.000	76.000-106.000	
	Custo por 10 ⁶ m ³ /ano	100.000-340.000	190.000-1.170.000	540.000-3.000.000	

processos por vezes complicados do tratamento de água superficial.

O suprimento mais simples, através de água subterrânea, prescinde do tratamento e, pelo menos para cidades pequenas, torna-se muito mais vantajoso.

As Regiões de Ribeirão Preto (n.º 6) e São José do Rio Preto (n.º 8) estão à frente das demais, na utilização de água subterrânea com a finalidade de abastecimento. Na Região 6, a maioria dos poços está no aquífero Botucatu. Na Região 8, praticamente todos os poços são perfurados no aquífero Bauru, uma vez que o aquífero Botucatu nessa região é relativamente profundo e perfurá-lo implica uma operação onerosa.

Embora o custo da produção de água subterrânea, conforme foi comprovado acima, seja mais ou menos o mesmo, à despeito de sua profundidade, a escolha da Região n.º 6 para dar início aos estudos hidrogeológicos sistemáticos, tem várias vantagens sob o ponto de vista do abastecimento de água:

- a) A oneração do poço individual é relativamente baixa.
- b) Mesmo com uma produção mínima de 50 m³/h ou 350.000 m³ por ano, um poço no aquífero Botucatu pode servir a um município com população de 4.000 habitantes ou mais.
- c) O preço relativamente baixo da construção do poço, torna a provisão da capacidade de reservatórios mais fácil, mesmo nos grandes municípios.
- d) Considerando o baixo custo dos poços da Região 6, torna-se possível com o mesmo investimento, perfurar mais poços que podem, por sua vez, ser utilizados para fins de estudos e observação.

III — SELEÇÃO DA PRIMEIRA ZONA DE ESTUDO SISTEMÁTICO

Considerações Gerais

Nas semanas dedicadas à compilação, elaboração e avaliação de todos os dados pertinentes, surgiu a necessidade de se definir a metodologia e extensão do estudo hidrogeológico detalhado, depois da presente fase. Tal necessidade surge, em vista da grande extensão do Estado, problemas de recursos superficiais e subterrâneos e demandas crescentes. Parece que, para o estudo sistemático dos recursos hídricos, seria vantajoso elaborar uma unidade hidro-

lógica. Entretanto, logo nas primeiras etapas do estudo, verificou-se que seria muito difícil dividir a informação obtida acerca da população, consumo e abastecimento atual e previsões de demanda, segundo as bacias hidrográficas. Por outro lado, existe a divisão do Estado em 11 Regiões Administrativas, dentro de cujos limites estão concentrados a maior parte dos dados. Além disso, o tamanho dessas regiões é considerado como adequado ao estudo detalhado, nos moldes em que se pretende realizá-lo na segunda fase.

Conclui-se que qualquer análise e avaliação de material relacionado à seleção da primeira região de estudo, seria realizado de acordo com a divisão administrativa. O estudo detalhado, em si, seria efetuado conforme a bacia hidrográfica que cobre a maior parte da região administrativa, cuja extensão é da mesma ordem de magnitude.

A REGIÃO ESCOLHIDA

Decidiu-se escolher a Região Administrativa 6 (Ribeirão Preto) como primeira dentre as áreas, para iniciar o estudo hidrogeológico sistemático (Ver tabela VII.1). Esta decisão baseou-se nas seguintes considerações:

- a) O estudo hidrogeológico sistemático se realizaria em toda a extensão do Estado, iniciando-se na região previamente escolhida.
- b) Na região escolhida, ocorre superposição entre a Região Administrativa n.º 6 e a Zona Hidrográfica n.º 7, o que propicia realização contínua do trabalho detalhado, de acordo com a divisão hidrográfica.
- c) Na Região 6, assim como em várias outras, existem dois aquíferos regionais (Botucatu e Bauru) o que facilita o estudo sistemático dos recursos hídricos subterrâneos.
- d) Enquanto as condições no aquífero Bauru, não variam de região para região, o aquífero Botucatu, na região, é aflorante em boa parte.

Devido a esse fato, os poços são relativamente pouco profundos, com vazões e capacidades específicas aceitáveis. A menor profundidade de perfuração, com relação a outras regiões administrativas, resulta numa construção mais econômica dos poços.

- e) A inversão de capital para um milhão de metros cúbicos é semelhante a de outras regiões, visto que, em geral nos poços profundos e dispendiosos das regiões a noroeste, é previsto um rendimento instantâneo

TABELA VII-1 COMPARAÇÃO ENTRE AS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

REGIÃO	NOME DA REGIÃO	EXTENSÃO (Km ²)	NÚMERO DE MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO URBANA 1970 (Pop.)	CRITÉRIOS													OUTROS CRITÉRIOS	
					DEMANDA (l/dia/cap)					RECURSOS DE ÁGUA									
					MUNICIPAL	INDUSTRIAL	TOTAL	SUBSISTÊNCIAS	SUBSISTÊNCIAS				SUBSISTÊNCIAS						
ABASTECIMENTO	INDUSTRIAL	TOTAL	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO	ABASTECIMENTO						
1	SÃO PAULO	7.960	37	7.851.068	47,2	1.374	181	265	741	2.115	Tietê	125	Sedimentos Turbidos (STP)	1.180	200-250	5-35	---	Maneira de uso urbano, no qual a maior quantidade de população vive nos centros urbanos, com alta influência urbana na região.	1
2	SANTOS	15.485	23	7.674	67,8	63	29,5	43,2	121	90	Ribeirão das Pedras	352	Sedimentos Turbidos (STP)	2.475	70	20-40	---	Parque meteorológico	2
3	SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	14.190	32	584.809	69,1	56	16,5	24,2	68	124	Pareíba	214	Sedimentos Turbidos (STP)	2.045	150-200	50-50	100.000 - 340.000	Medeamento de solos	3
4	SOROCABA	40.685	59	641.751	90,2	81	10,9	16,0	45	126	maio Tietê	452	Água	2.715	100-50	10-20	190.000 - 1170.000	---	4
5	CAMPINAS	26.975	85	1.524.179	79,2	153	75	11,0	31	184	Piracicaba alto Mogi Guçu	328	Água	2.285	100-200	20-50	240.000 - 380.000	Piracicaba médio Mogi Guçu	5
6	RIBEIRÃO PRETO	39.945	80	1.002.588	86,7	93	5,9	8,6	24	117	Pardo Mogi Guçu Sãocaí-Mirim	390	Água	9.985	100-150	10-40	180.000 - 1.170.000	Pardo Mogi Guçu Sãocaí-Mirim	6
7	BAURUR	16.265	38	372.215	98,2	39	3,2	4,7	13	52	maio Tietê alto Aguaçu	240	Água	12.040	100-200	10-60	190.000 - 1.170.000	Medeamento de solos	7
8	SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	27.490	85	511.805	67,8	152	3,2	4,7	13	145	São José do Rio Preto Turvo	340	Água	28.350	150	10-50	180.000 - 1.170.000	Medeamento de solos	8
9	ARAÇATUBA	18.690	37	505.524	67,5	46	2,9	4,2	12	58	São José do Rio Preto Aguaçu	246	Água	17.780	150	10-40	190.000 - 1.170.000	Medeamento de solos	9
10	PRESIDENTE PRUDENTE	24.835	50	359.369	85,9	82	2,7	4,0	11	93	Pardo São Carlos Paranaíba Mogi	312	Água	34.480	100-200	10-50	190.000 - 1.170.000	Medeamento de solos	10
11	MARÍLIA	19.060	47	377.902	67,5	60	3,7	4,0	11	71	Pardópolis	287	Água	12.875	150	10-50	180.000 - 1.170.000	Medeamento de solos	11
TOTAL		247.980	571	14.328.067	61,2	2183	286,0	389,6	1090	3275	100 a 1000 m								

maior. Por outro lado, para a mesma quantidade de água extraída e com uma inversão de capital semelhante, o número de poços seria maior na Região 6 do que nas demais regiões. Este fato apresenta determinadas vantagens:

- 1) Um maior número de poços de extração propicia a obtenção de maior informação hidrogeológica, reduzindo as necessidades em executar sondagens especiais de investigação e observação.
- 2) Possibilita um melhor treinamento em planejamento executivo, por meio de construção de maior número de poços.
- 3) Os poços com vazões moderadas, são suficientes para abastecer cidades pequenas (de 5.000 habitantes), as quais somam 25% das 80 cidades da região. Poços com vazões consideráveis, como as obtidas nos mais profundos, não são necessários, pois os poços mais rasos podem satisfazer a demandas sendo relativamente menos onerosos.
- 4) Nas cidades algo maiores, é vantajosa a perfuração de vários poços menores, pois dessa forma se garante a reserva operacional, no caso de paralização de um dos poços do sistema de abastecimento.
- f) A Região 6 é maior em área e população, em relação às outras regiões potencialmente interessantes para o estudo de recursos hídricos subterrâneos. Está situada num dos eixos mais importantes de desenvolvimento (São Paulo-Brasília).

Com a finalidade de se definir e comparar as diferentes regiões, resumiu-se na tabela VII.1, o cabedal de informações sobre a extensão e população, demanda atual e prevista, recursos disponíveis e vários outros critérios. Todos os valores e dados introduzidos, têm validade apenas como indicação comparativa, não estabelecendo bases para a planificação.

O ESTUDO DAS REGIÕES RESTANTES

No início deste capítulo, foi mencionado que a região escolhida será o marco inicial de uma série de investigações dos recursos hídricos subterrâneos, a qual abrangerá todo o Estado de São Paulo.

Atualmente, é difícil fixar a ordem de prioridade; o início nas demais regiões será determinado durante os trabalhos na primeira zona.

Dentre elas considera-se a Região do Grande São Paulo como a primeira, dada sua importância e destaque como o centro urbano mais denso do País. O especial interesse em se estudar a Bacia de São Paulo, além da continuidade dos estudos dos aquíferos regionais, prende-se aos problemas cruciais advindos da super exploração e diminuição gradual da recarga natural, em decorrência do desenvolvimento urbano acelerado, que se traduz no rebaixamento dos níveis piezométricos e redução das vazões. Além disso, a poluição da porção freática dos aquíferos aumenta em ritmo alarmante.

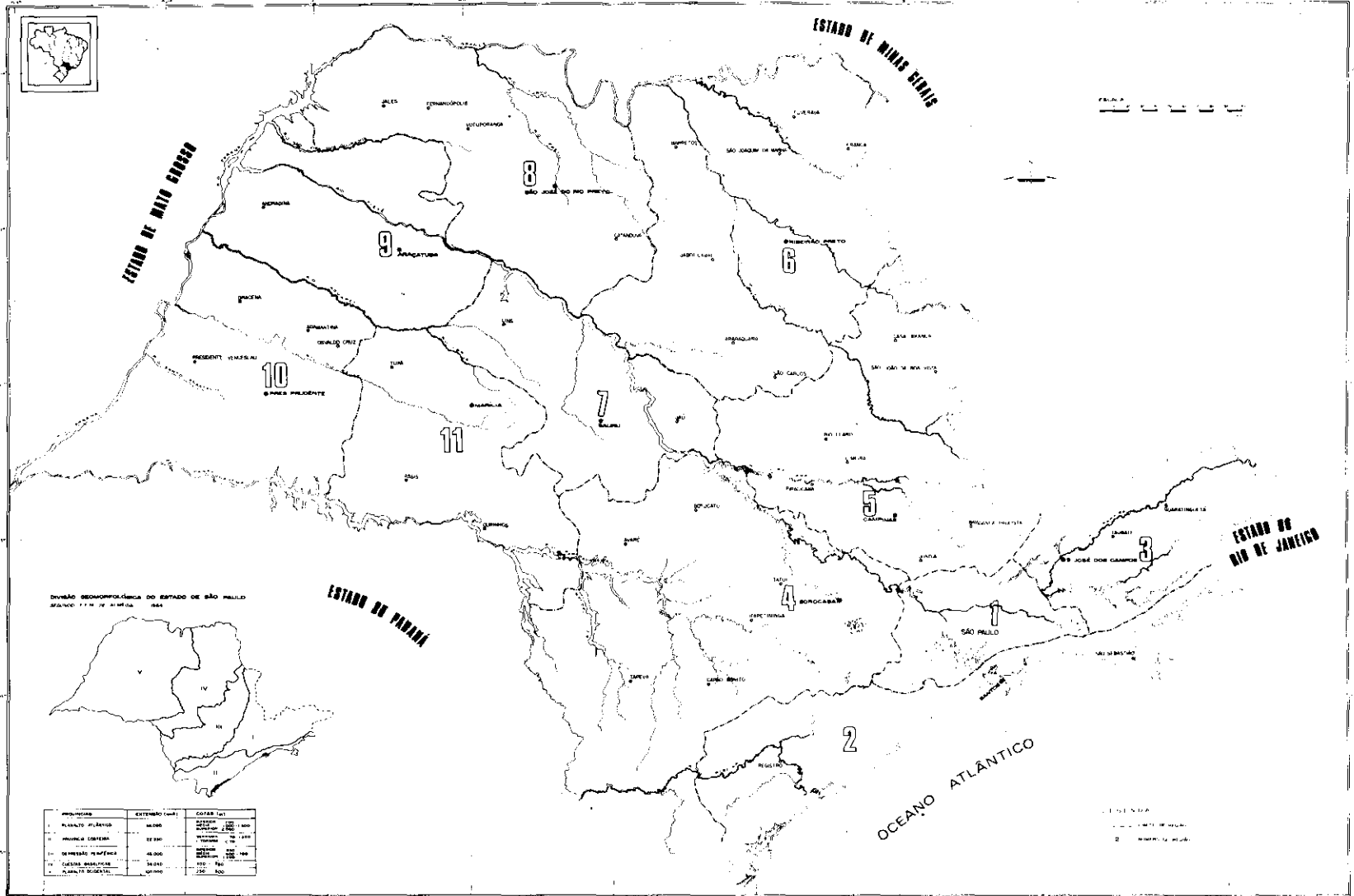
Nas reuniões realizadas com a COMASP, ficou evidenciado que em relação a soluções do abastecimento, existe uma corrida permanente contra o tempo. Foi esclarecido que os projetos executados na atualidade não podem satisfazer à crescente demanda urbana e, obviamente, a demanda industrial. Na atual conjuntura, somente uma pequena parte das indústrias obtém água da rede municipal, devido ao contexto político local de favorecer a implantação de indústrias. Face ao fato de que o crescimento industrial se desenvolve de maneira avassaladora, é de se supor que na falta de outros recursos, a exploração das águas subterrâneas será aumentada. Como a situação atual é alarmante, as condições futuras poderão ser muito mais críticas. Em vista disso, recomenda-se iniciar este estudo o quanto antes possível, a fim de se poder manter o aquífero em utilização contínua.

Com relação às demais regiões, é possível adiar a decisão para etapas posteriores.

Dentre os critérios que podem influenciar a prioridade da futura seleção, temos:

- 1) Poluição e escassez de águas superficiais, acarretadas pelos projetos de derivação. (Médio Tiete e Piracicaba).
- 2) Semelhança com as condições da Região 6, face a possibilidade de se adiantar consideravelmente o estudo hidrogeológico sistemático (Região 7).
- 3) Abastecimento de pequenas cidades (Região 8).
- 4) Crescimento da demanda em aquíferos promissores, ainda que limitados (Vale do Paraíba).

Todas as tentativas feitas no sentido de ordenação tem caráter prematuro, pois podem ser modificadas de acordo com as necessidades que possam surgir.



PROPORÇÃO	EXTENSÃO (km²)	CÓDIGO (set)
PLANÍCIE PLUVIAL	ALTO	1
PLANÍCIE COSTEIRA	SE. BA.	2
DEPRESSÃO DE SUFICA	ALTO	3
CANAL DECOUPLADO	ALTO	4
PLANÍCIE COSTEIRA	ALTO	5

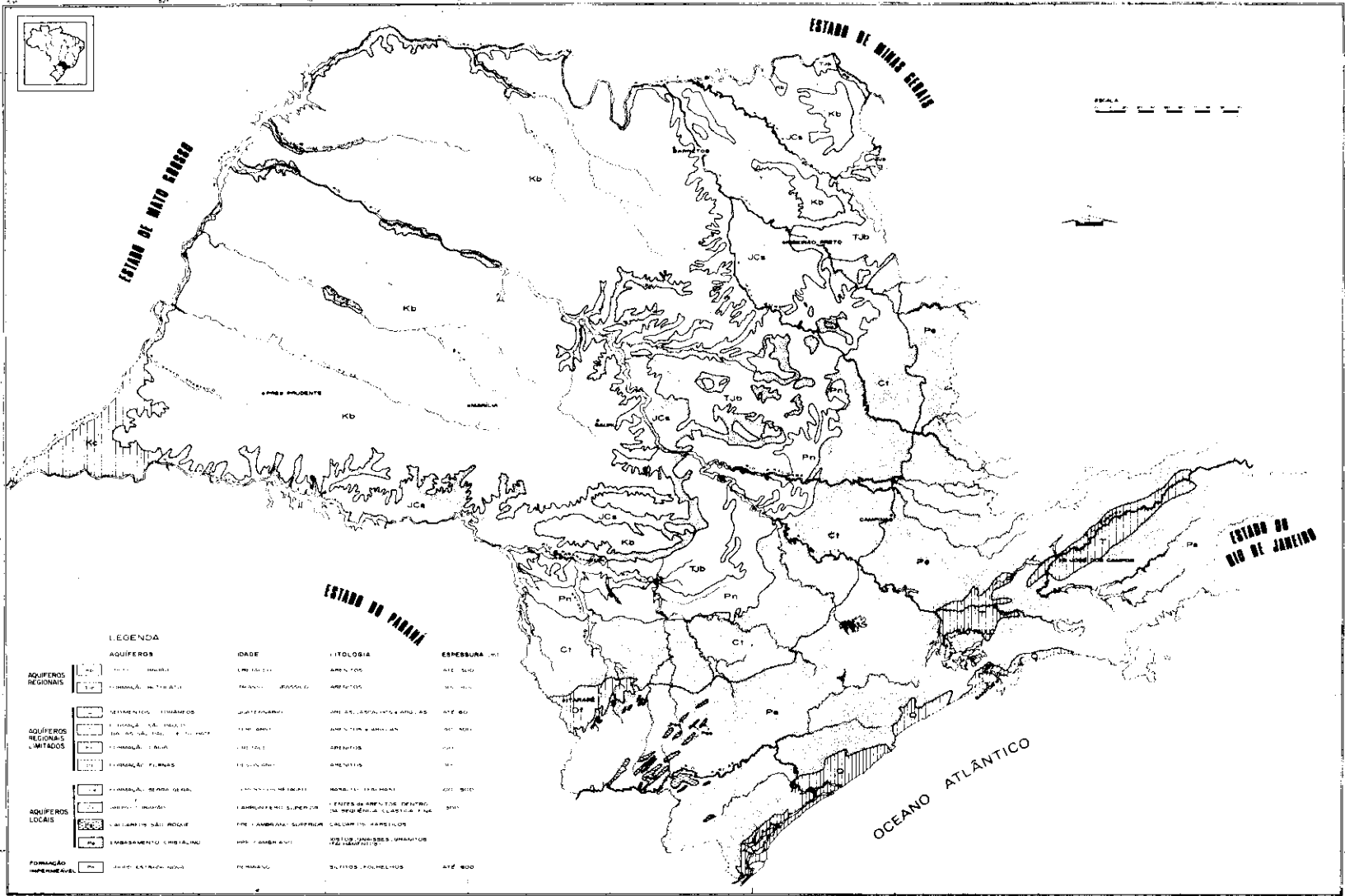
DIVISÃO DE PLANEJAMENTO GERAL (DAAE)
 GEOPESQUISADORA BRASILEIRA - TAVEL CONSULTING ENGINEERS LTD
 SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E OBRAS PÚBLICAS
 DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
 DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE

DAEE

ESTUDO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
 MAPA GERAL

BRANCA

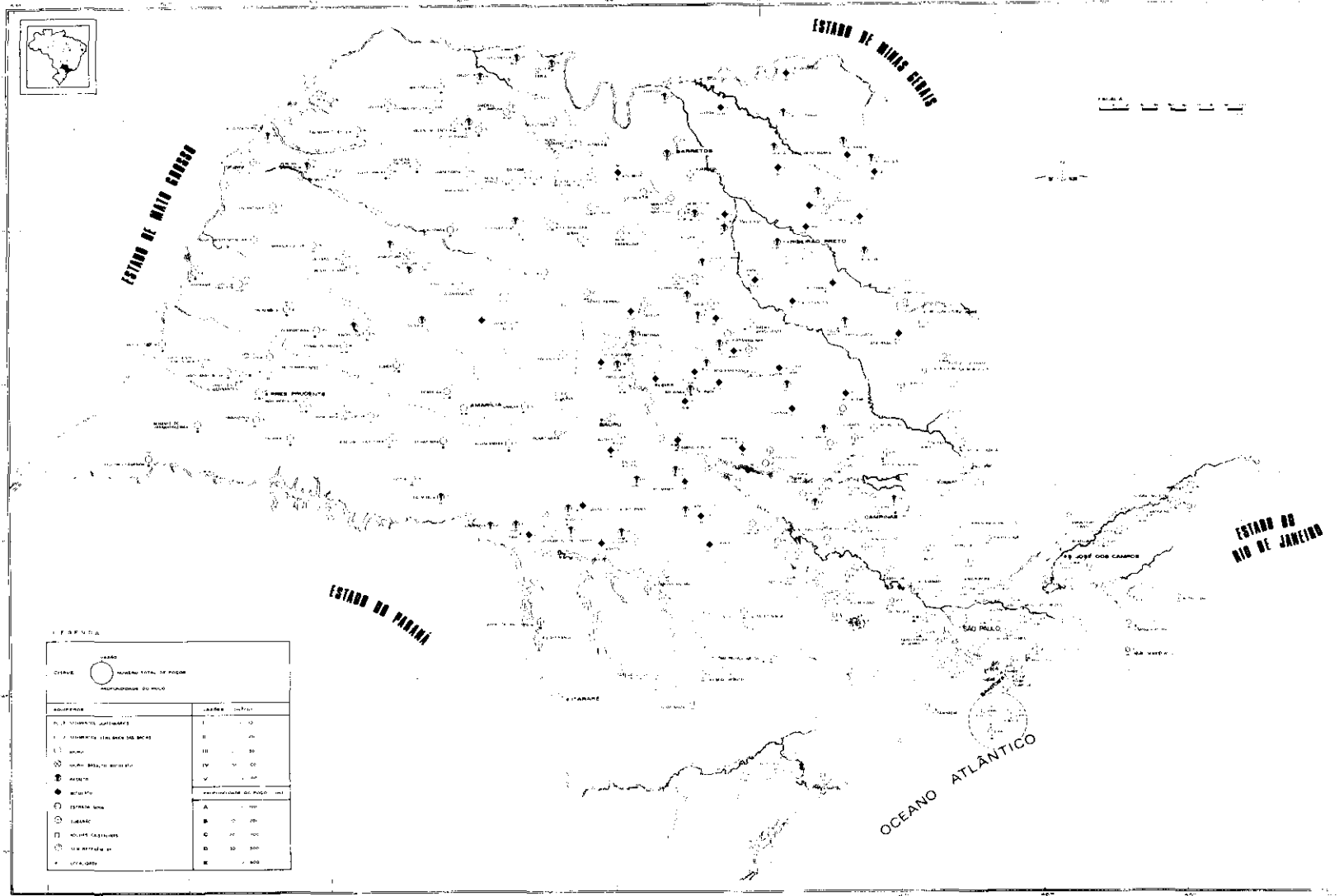
11



LEGENDA

AQUÍFEROS	IDADE	LITOLOGIA	ESPESSURA (m)
AQUÍFEROS REGIONAIS	TERCIÁRIO SUPERIOR	ARENITOS	ATE 500
	TERCIÁRIO INFERIOR	ARENITOS	ATE 100
AQUÍFEROS REGIONAIS LIMITADOS	QUATERNÁRIO	AREIAS, CASCALHÃO E ARGILA	ATE 60
	TERCIÁRIO SUPERIOR	ARENITOS E ARGILA	ATE 100
	TERCIÁRIO INFERIOR	ARENITOS	ATE 100
AQUÍFEROS LOCAIS	TERCIÁRIO SUPERIOR	ARENITOS E ARGILA	ATE 100
	TERCIÁRIO INFERIOR	ARENITOS	ATE 100
FORMAÇÃO IMPERMEÁVEL	TERCIÁRIO SUPERIOR	ARENITOS E ARGILA	ATE 100
	TERCIÁRIO INFERIOR	ARENITOS	ATE 100

DIVISÃO DE PLANEJAMENTO GERAL (DAEE)		SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS	
GEOPESQUISADORA BRASILEIRA-TIVAL CONSULTING ENGINEERS LTD		DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA	
PROJETO: D. YAMAMOTO, S. SILVA, M. MACHADO		DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE	
REVISÃO: S. M. H. COSTA		GRÁFICA	ESTUDO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
LUGAR & DATA			AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO
DATA DE 2/78			IV 31



LEGENDA

CHAVE

● QUANTO TOTAL DE POÇOS

○ PROPORÇÃO DO POÇO

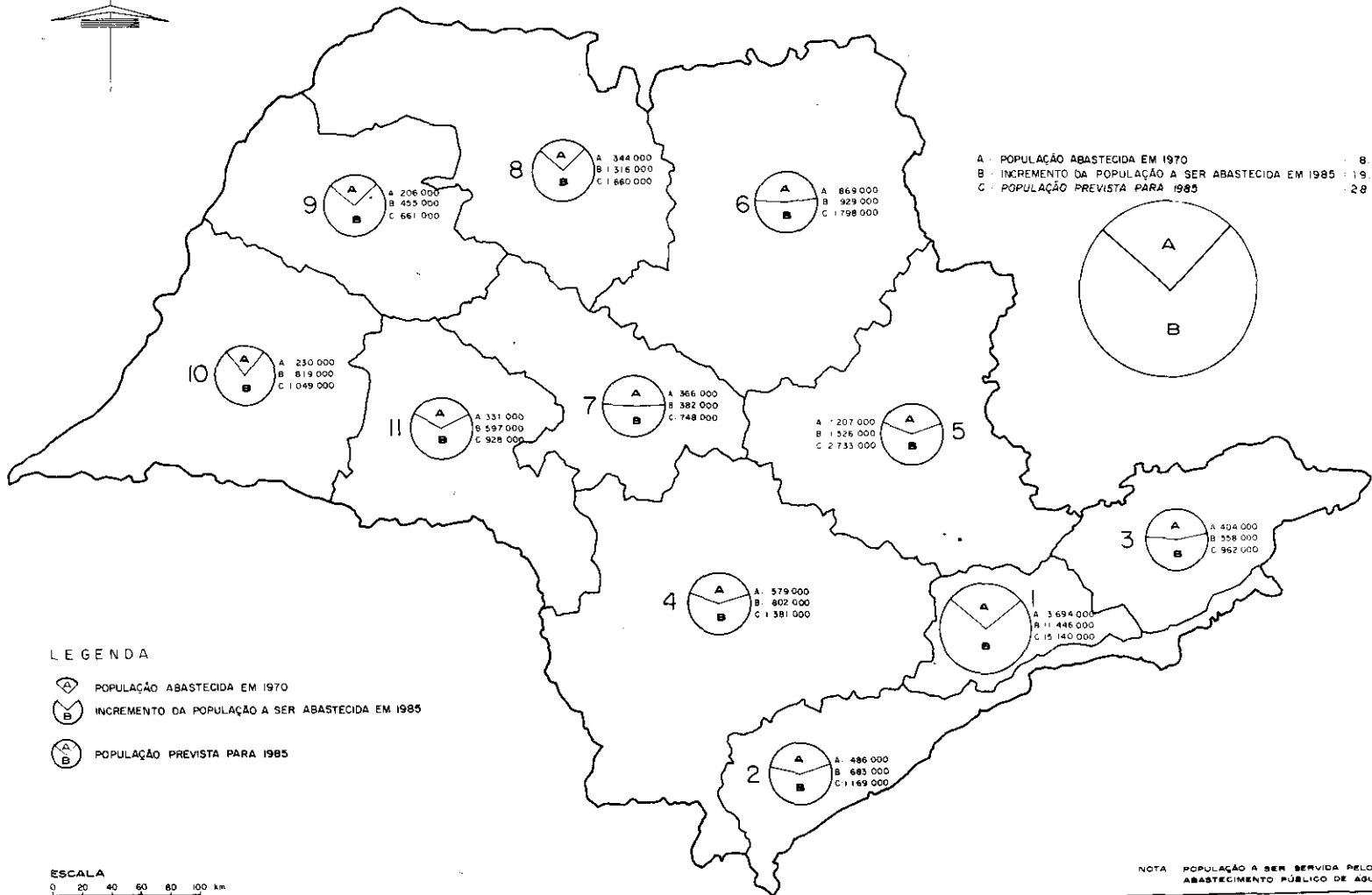
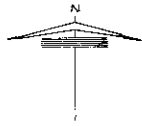
ABUNDÂNCIA	LEGENDA	QUANTO
1. 1. MONUMENTO HISTÓRICO	I	1 - 10
2. 2. MONUMENTO HISTÓRICO DE BOMAS	II	11 - 20
3. 3. POÇO	III	21 - 30
4. 4. POÇO BOMAS DE BOMAS	IV	31 - 40
5. 5. POÇO	V	41 - 50
6. 6. POÇO	VI	51 - 60
7. 7. POÇO	VII	61 - 70
8. 8. POÇO	VIII	71 - 80
9. 9. POÇO	IX	81 - 90
10. 10. POÇO	X	91 - 100

PROPORÇÃO DO POÇO	LEGENDA	QUANTO
A	A	1 - 100
B	B	101 - 200
C	C	201 - 300
D	D	301 - 400
E	E	401 - 500

DAEE SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS
 DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
 DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE

ESTUDO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
 DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS CADASTRA-
 DOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

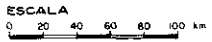
IV 32



A - POPULAÇÃO ABASTECIDA EM 1970 - 8 716 000 habitantes
 B - INCREMENTO DA POPULAÇÃO A SER ABASTECIDA EM 1985 - 19 513 000 habitantes
 C - POPULAÇÃO PREVISTA PARA 1985 - 28 229 000 habitantes

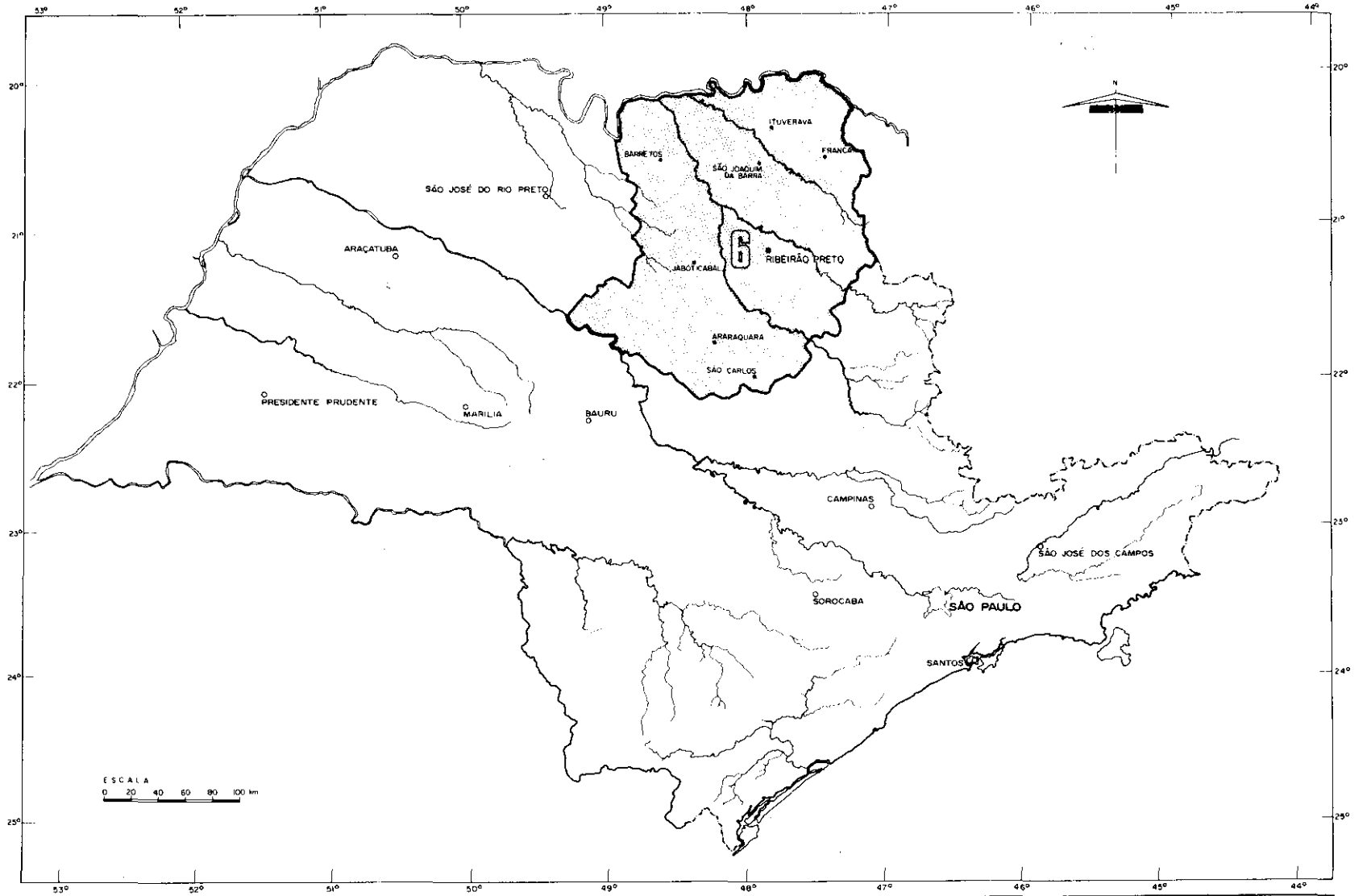
LEGENDA

- POPULAÇÃO ABASTECIDA EM 1970
- INCREMENTO DA POPULAÇÃO A SER ABASTECIDA EM 1985
- POPULAÇÃO PREVISTA PARA 1985



NOTA - POPULAÇÃO A SER SERVIDA PELO SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA ATÉ 1985

DAEE	SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE
	ESTUDO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA	VII



DAEE	SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE
	ESTUDO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
	REGIÃO SELECIONADA PARA O INÍCIO DO ESTUDO DETALHADO - RIBEIRÃO PRETO -