

## DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DA R.M.S.P.

### USO E PROTEÇÃO

- Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças
- Prof. Dr. Cláudio Riccomini
- Prof. Dr. Nelson Ellert
- Prof. Dr. Uriel Duarte                      Instituto de Geociências / CEPAS - USP
- Geóloga Kátia Maria Mellito
- Geóloga Lidia Andrea Senf

Geólogo João Carlos Simanke de Souza/ SABESP

### RESUMO

O objetivo principal desta análise é apresentar o Diagnóstico Hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), como subsídio ao planejamento integrado para uso racional dos seus recursos hídricos. As camadas, zonas ou corpos rochosos que apresentam, relativamente, as melhores características de porosidade (estocagem) e de permeabilidade (fluxo), constituem os aquíferos. A necessidade de gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas é consenso nos meios técnicos internacionais e nacionais. Lamentavelmente, nossos governantes e administradores tem se mostrado pouco sensíveis à necessidade de conhecimentos mais detalhados sobre as águas subterrâneas e/ou de criação e manutenção dos recursos humanos, materiais e serviços indispensáveis à prática das normas que visam o uso e a proteção destes mananciais.

### ASPECTOS GERAIS

A Região Metropolitana da Grande São Paulo (RMSP) está localizada no Sudeste do Estado, limitando-se ao Norte com a Região de Campinas, ao Sul com a Região do Litoral, a Leste e Nordeste com a Região do Vale do Paraíba e a Oeste com a Região de Sorocaba. A Região da Grande São Paulo é constituída por 39 Municípios em torno da Capital do Estado, diretamente por ela polarizados. A RMSP representa 3,2% da área do Estado, cobrindo, aproximadamente, uma extensão de 8.051 Km<sup>2</sup>. Esta área concentra, atualmente, cerca de 16 milhões de habitantes. Os condicionantes hidrogeológicos de uma área compreendem dois fatores principais: fatores geológicos e fatores hidroclimáticos. Enquanto os fatores geológicos determinam as condições de armazenamento e de circulação das águas subterrâneas, os fatores

hidroclimáticos são responsáveis pelas suas recargas. Por outro lado, as formas de ocupação do meio - urbanização, indústrias, disposição de efluentes e resíduos domésticos e industriais - podem provocar impactos nas águas subterrâneas. A primeira etapa da avaliação dos potenciais hidrogeológicos foi realizada com base na análise das características hidrológicas vocacionais (porosidade e permeabilidade) das rochas que compõem o arcabouço geológico da área. A segunda etapa consistiu em se avaliar os dados dos poços, em termos tanto construtivos como de produção e qualidade da água obtida, e os dados disponíveis de condutividade hidráulica, porosidade efetiva e coeficiente de armazenamento. A partir da integração de todos esses dados, foi elaborado o Mapa Hidrogeológico, compreendendo base geológica, poços cadastrados e cartografia das associações litológicas que apresentam potenciais hidrogeológicos equivalentes, formando um conjunto de 22 folhas na escala 1:50.000.

#### DADOS DO BALANÇO HIDROLÓGICO

As águas subterrâneas representam a parcela do ciclo hidrológico que transita pelo subsolo. Por outro lado, a saída de águas das bacias hidrográficas ocorre na forma de fluxos superficial e subterrâneo, cujos processos são muito complexos, dependendo do regime das chuvas, da capacidade de infiltração e/ou de retenção de água do solo, da geomorfologia, das formas de uso e ocupação do meio físico, dentre outros fatores. Estes escoamentos dependem, portanto, de condições estáticas e dinâmicas do sistema. O fator dinâmico é a chuva que ocorre sobre a área da bacia hidrográfica de uma maneira aleatória. Este caráter aleatório da precipitação é o responsável pelas variações rápidas dos escoamentos de superfície, os quais podem engendrar as enchentes dos rios. Porém, sua importância se torna mais restrita no escoamento subterrâneo, devido à atenuação proporcionada pelas baixas velocidades dos fluxos, da ordem de centímetros por dia. Em consequência, à análise e/ou simulação dos fluxos subterrâneos utilizam-se, com frequência, modelos determinísticos, enquanto que à análise dos fluxos superficiais torna-se necessária uma abordagem probabilística ou randômica. Os aspectos do meio físico são estimados com base em estatísticas das características hidrológicas vocacionais do quadro geológico, em termos de condicionantes básicos da retenção de umidade e de infiltração do solo. Desta forma, o processo de escoamento pode ser subdividido em várias fases, como segue: escoamento superficial, escoamento hipodérmico e subterrâneo raso - alimentando os rios num ciclo anual - e escoamento subterrâneo profundo - alimentando os rios num ciclo plurianual - decenal, secular ou milenar. Resumindo os resultados do balanço hidrológico simulado pelo DAEE, 1975, das sub-bacias do Alto Tietê, a montante do posto fluviométrico de Itaquaquecetuba (1.460km<sup>2</sup>), os dados seguintes podem ser destacados:

- Chuva média - período de out/1964 a set/1974 - de 1520mm/ano, com uma variação da ordem de 20%.
- Evaporação real média anual de 940mm/ano, com variação de aproximadamente 20%.
- Escoamento anual médio, assim distribuído:
  - a) vazão total do rio Tietê em Itaquaquecetuba  $Q_t = 840$  milhões m<sup>3</sup>/ano, ou 575mm/ano de lâmina equivalente;
  - b) escoamento superficial  $Q_s = 321$  milhões m<sup>3</sup>/ano, ou seja, uma lâmina equivalente de 220mm/ano;
  - c) escoamento básico  $Q_b = 519$  milhões m<sup>3</sup>/ano, ou 355mm/ano de lâmina equivalente;
  - d) infiltração nas áreas permeáveis (783km<sup>2</sup>) = 518 milhões m<sup>3</sup>/ano, ou lâmina equivalente de 661mm/ano.

A contribuição de origem subterrânea, representa, portanto, a parte predominante, da ordem de 62% do valor da vazão total do rio Tietê em Itaquaquecetuba. Considerando a área da bacia do Alto Tietê, a montante do posto fluviométrico de Itaquaquecetuba, verifica-se que as recargas dos domínios mais permeáveis representam uma lâmina de 661mm/ano. Em termos de valores médios, a lâmina é de apenas 355mm/ano. Vale salientar que as infiltrações que ocorrem nos domínios realçados do relevo vêm alimentar os corpos aquíferos das rochas sedimentares, do manto de intemperismo e das zonas de fraturas/falhas, cujos domínios mais importantes estão localizados, em geral, nos setores mais rebaixados da topografia.

#### QUADRO HIDROGEOLÓGICO

##### ASPECTOS FUNDAMENTAIS

As camadas ou corpos à predominância arenosa e zonas de rochas compactas intensamente fissuradas e/ou fraturadas constituem os aquíferos. Os corpos rochosos formados por misturas, em proporções variadas, de areias, siltes e argilas, e zonas de rocha compactas pouco fraturadas, constituem aquíferos (domínios de fluxos muito lentos); enquanto as camadas ou corpos predominantemente argilosos e rochas compactas praticamente impermeáveis, constituem aquíferos (domínios que retêm a água que se infiltra, ou onde não ocorre infiltração importante). Os aquíferos contituem as camadas confinantes dos aquíferos semi-confinados, enquanto os aquíferos encerram os aquíferos confinados.

Os corpos aquíferos poderão estar aflorando na superfície topográfica, ou poderão estar, total ou parcialmente, encerrados entre aquíferos. No primeiro caso constituem sistemas aquíferos livres e sistemas confinados, no segundo caso.

Os aquíferos livres são alimentados pelas infiltrações diretas das chuvas que caem sobre as suas áreas de afloramento e/ou pelas infiltrações induzidas por atividades antropogênicas, tais como: irrigação, vazamento de redes de distribuição de água, galerias pluviais e/ou de coleta de esgotos, enchentes, lagoas de estabilização de efluentes, etc.

Quando o aquífero livre tem o nível de água raso, em geral inferior a 10 metros, é, também, denominado de freático.

As interações dos aquíferos livres com os corpos de água superficiais (rios, lagos e represas) e com as formas de uso e ocupação do meio físico, são reguladas pela zona não saturada, a qual proporciona a proteção bio-físico-química das águas acumuladas na zona saturada.

Desta forma, quanto mais espessa é a zona não saturada, maior será a tempo de trânsito das infiltrações que ocorrem na superfície e, conseqüentemente, maior será a proteção bio-físico-química às águas subterrâneas da zona saturada. Ao contrário, quanto mais rasa se encontra a zona saturada nas áreas de recarga, mais vulneráveis se tornam as águas subterrâneas aos agentes de poluição que atingem à atmosfera e o solo.

Nas zonas de descarga dos aquíferos livres ou confinados a vulnerabilidade torna-se baixa, na medida em que os fluxos sendo exudantes impedem a infiltração dos poluentes que atingem a superfície do solo.

Por outro lado, os aquíferos confinados acham-se fisicamente desconectados do meio ambiente superficial pela camada confinante, cuja permeabilidade é relativamente muito baixa. Em consequência, estes sistemas aquíferos são re-alimentados, primordialmente, pelas infiltrações que ocorrem nas suas zonas de afloramento, e/ou pelas infiltrações que se verificam através das camadas confinantes, em função das diferenças de cargas hidráulicas que se estabelecem, natural ou artificialmente. Em termos gerais, as águas dos aquíferos confinados estão, relativamente, melhor protegidas dos agentes de degradação do meio ambiente.

Os aquíferos livres com espessa zona não saturada, natural ou engendrada por bombeamentos intensos, bem como aqueles confinados submetidos a regimes de sobre-exploração, poderão ser re-alimentados por meio de técnicas de recarga artificial, utilizando-se excedentes de águas de escoamento superficial, geradores de enchentes, ou mediante reuso de efluentes domésticos e industriais devidamente tratados.

## RESERVAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A Tabela 2 apresenta os parâmetros fundamentais dos dois principais domínios aquíferos da RMSP, com base nos quais podem ser determinadas as suas potencialidades.

Tabela 2 - Parâmetros fundamentais dos domínios aquíferos da RMSP

Domínios hidrogeológicos	Extensão (km <sup>2</sup> )	Espessura média(m)	Porosidade efetiva média(%)	Taxa de Recarga média (mm/ano)
Rochas cristalinas	6.599	50	3	355
Rochas sedimentares	1.452	100	6	355 a 661

### Reservas Permanentes

As reservas permanentes de água subterrânea (Rp) correspondem aos volumes estocados nos aquíferos, abaixo das flutuações anuais de nível da zona saturada. Este volume é igual ao produto da extensão de ocorrência do aquífero, pela sua espessura média saturada e pelo coeficiente de porosidade efetiva (aquífero livre) e/ou de armazenamento (aquífero confinado ou semi-confinado).

As reservas permanentes do domínio de rochas cristalinas (Rpx) são:

$$Rpx = 6.599 \times 10^6 \times 50 \times 0,03$$

$$Rpx = 9.898 \text{ milhões m}^3$$

As reservas permanentes do domínio de rochas sedimentares (Rps) compreendem as reservas acumuladas em condições de aquífero livre (Rpl) e de aquífero semi-confinado (Rpc):

$$Rpl = 1.452 \times 10^6 \times 100 \times 0,06$$

$$Rpl = 8.712 \text{ milhões m}^3$$

As reservas armazenadas sob condições de semi-confinamento (Rpc) são calculadas com base no coeficiente de armazenamento, ou seja:

$$Rpc = 1.452 \times 10^6 \times 100 \times 0,001$$

$$Rpc = 145 \text{ milhões m}^3$$

As reservas totais dos terrenos sedimentares (Rps) são:

$$Rps = Rpl + Rpc = 8.712 + 145 = 8.857 \text{ milhões m}^3$$

As reservas permanentes totais de águas subterrâneas (Rp) da RMSP são:

$$Rp = Rpx + Rps = 18.755 \text{ milhões m}^3$$

As reservas exploráveis dependem dos parâmetros de viabilidade técnica e econômica dos projetos de captação e/ou uso. Ao nível do planejamento adota-se como explorável uma fração (entre 25 e 50%) das reservas reguladoras dos aquíferos livres, semi-livres ou semi-confinados.

Considerando a grande descontinuidade das zonas aquíferas das rochas cristalinas e grande heterogeneidade dos sedimentos terciários, adota-se como disponibilidade apenas 25% das reservas reguladoras.

A Tabela 3 apresenta as dimensões hidrogeológicas e as disponibilidades de água subterrânea da RMSP.

Tabela 3 - Potencialidades e disponibilidades de água subterrânea na RMSP

Domínio hidrogeológico	Extensão km <sup>2</sup>	Reservas permanentes milhões m <sup>3</sup>	Reservas reguladoras milhões m <sup>3</sup> /ano	Disponibilidades milhões m <sup>3</sup> /ano (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidades específicas L/s.km <sup>2</sup>
Rochas cristalinas	6.599	9.898	2.343	586 (18)	2,7
Rochas sedimentares	1.452	8.857	898	224 (7)	4,8
Totais	8.051	18.755	3.241	810 (25)	7,5

Domínio de rochas cristalinas - 586 milhões m<sup>3</sup>/ano, ou 18 m<sup>3</sup>/s

Domínio de rochas sedimentares - 224 milhões m<sup>3</sup>/ano, ou 7 m<sup>3</sup>/s

Disponibilidades totais de água subterrânea da RMSP - 25 m<sup>3</sup>/s

### ORIENTAÇÃO PARA PLANEJAMENTO

#### MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O sistema hidrogeológico principal da RMSP está inserido no domínio hidrográfico do Alto Tietê. Este sistema é limitado pelos setores montanhosos, formadores dos divisores topográficos de águas superficiais e subterrâneas da unidade hidrogeológica.

Uma parcela entre 23 e 43 % das chuvas que caem neste domínio (média de 1520mm/ano) se infiltra no manto de alteração das rochas cristalinas do embasamento geológico pré-cambriano (6.599 Km<sup>2</sup>) e nos depósitos areno-siltosos da Bacia Sedimentar de São Paulo (1.452 Km<sup>2</sup>).

A espessura média do manto intempérico que cobre o substrato praticamente impermeável é de 50m, e os parâmetros de condutividade hidráulica são muito variáveis, entre 10<sup>-1</sup> e 10<sup>-5</sup> cm/s, situando-se os valores mais elevados no terço inferior do perfil, em contato com as rochas do embasamento geológico.

O pacote sedimentar de idade Terciária ocupa blocos afundados do embasamento geológico (grabens) e sobrepõe-se ao sistema aquífero das rochas cristalinas. O domínio de ocorrência mais importante constitui a Bacia Sedimentar de São Paulo (cerca de 1.000 Km<sup>2</sup>) e ramificações laterais (grabens do Jaguaré, Cumbica e Braz Cubas). A espessura média do pacote sedimentar é estimada em 100 m. As características hidráulicas são muito variadas, com coeficientes de condutividade hidráulica variando entre 10<sup>-2</sup> e 10<sup>-6</sup> cm/s.

As principais entradas de água do sistema hidrogeológico são os fluxos subterrâneos, os quais são alimentados pelas infiltrações das chuvas que caem nos domínios relativamente mais permeáveis e realçados do relevo, cujos fluxos subterrâneos convergem para o sistema de drenagem e para os pacotes de sedimentos, geralmente localizados nos setores mais deprimidos da topografia.

As principais saídas do sistema hidrogeológico são os rios que drenam a área acima da cota de 670m, correspondente a soleira granítica de Barueri, praticamente impermeáveis, e pelo bombeamento dos milhares de poços rasos e profundos em atividade na RMSP.

Neste particular, o bombeamento excessivo nas áreas de descarga poderão inverter os gradientes, induzindo infiltrações a partir dos rios, tal como se demonstrou no modelo matemático elaborado para se avaliar, preliminarmente, as condições de uso e proteção das águas subterrâneas do Campus da USP (Ross, 1991). Por conseguinte, é necessário estudo mais aprofundado desta relação água superficial/ água subterrânea, tendo em vista estes pontos e a possível indução de recargas regionais por milhares de poços em operação ao longo dos rios.

Portanto, uma simulação matemática (analítica ou numérica), prospectiva das condições de uso e proteção das águas subterrâneas da RMSP, deverá ter como base a unidade hidrográfica do Alto Tietê, as interações com os mananciais de superfície, as condições e níveis atuais de utilização e as formas de uso e ocupação do meio físico.

#### PERSPECTIVAS DE USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A importância das águas subterrâneas da RMSP pode ser aquilatada pelas disponibilidades da ordem de 586 milhões m<sup>3</sup>/ano ou 18m<sup>3</sup>/s irregularmente armazenados nas zonas aquíferas (manto de intemperismo associado a fraturas) dos 6.599 Km<sup>2</sup> de rochas cristalinas e de 224 milhões m<sup>3</sup>/ano ou 7 m<sup>3</sup>/s nos 1.452 Km<sup>2</sup> de terrenos sedimentares, ou seja, um total de 810 milhões m<sup>3</sup>/ano.

Nos terrenos cristalinos a produtividade segura por poço (bem locado, construído e operado com manutenção periódica) é estimada entre 10 e 20m<sup>3</sup>/h. Neste contexto hidrogeológico, a produtividade do poço depende, fundamentalmente, de uma boa localização, a qual, normalmente, deverá ser realizada pela integração de dados obtidos pela interpretação fotogeológica de pares estereoscópicos em escala 1:40.000 ou maior, análise geoestrutural/ tectônica e prospecção geofísica.

Lamentavelmente, as formas de ocupação do meio nem sempre permitem a aplicação de uma boa metodologia de locação. Ademais, a construção do poço raramente obedece especificações técnicas de projeto, como qualquer obras de engenharia de porte equivalente.

Na medida, porém, em que o setor tecnológico tende a evoluir da simples venda do metro perfurado, para o m<sup>3</sup> produzido, os benefícios obtidos se revelam altamente compensadores dos custos de aplicação de uma melhor tecnologia. A fase de teste deverá compreender, necessariamente, a obtenção da curva característica de produção, com definição do seu ponto de vazão crítica ou máxima.

Nos terrenos sedimentares a produtividade segura por poço (bem construído, desenvolvido e operado com manutenção periódica) é estimada entre 10 e 30 m<sup>3</sup>/h. Vale salientar, neste caso, que a produtividade do poço é função, basicamente, da adequada captação dos corpos arenosos atravessados e situados na metade inferior da espessura saturada. Para tanto, mister se faz o uso das técnicas de perfilagem geofísica para uma boa colocação dos filtros e aplicação de técnicas de desenvolvimento, tais como defloculantes de argilas e pistoneamento.

A fase de teste deverá compreender, igualmente, a obtenção da curva característica de produção, com definição da vazão máxima.

Considerando as produtividades seguras (10 a 30 m<sup>3</sup>/h), a população abastecível por poço varia entre 1000 e 3000 pessoas, para um regime de bombeamento de 20 horas por dia, ou populações entre 5.000 e 10.000 por meio de baterias de 3 a 4 poços.

Nestas condições, as melhores perspectivas de uso das águas subterrâneas da RMSP são para os setores da RMSP menos densamente urbanizados, bem como para condomínios e conjuntos habitacionais, indústrias e atividades comerciais localizadas em área favoráveis à captação, em termos de uso e proteção.

No núcleo mais densamente urbanizado, as águas subterrâneas poderão desempenhar um papel complementar ou estratégico, isto é, para suprimento das necessidades vitais durante situações de emergência ou de acidentes ambientais, mediante um gerenciamento integrado dos recursos hídricos disponíveis. Para tanto, uma rede básica de poços deverá ser selecionada, com base nos dados de cadastramento e estabelecidas as condições gerenciais de acionamento e compensação dos proprietários pelo uso do poço requisitado.

Vale ressaltar que, as disponibilidades avaliadas indicam a possibilidade de operação racional de 11.000 poços, sendo 8.000 nos domínios das rochas cristalinas e 3.000 no contexto sedimentar. Este número global já foi, praticamente, atingido, e ultrapassado em até cerca de duas vezes no caso do sedimentar. Contudo, os 7.000 poços só extraem cerca de 25% das disponibilidades, e em condições de alto risco à qualidade. Esta situação bem ilustra a urgência que se tem de uma ação dos órgãos gestores dos recursos hídricos na RMSP.

Em termos de custos de produção, verifica-se que estes são muito baixos, situando-se entre 10 e 40 centavos de dólar, para poços com profundidades entre 100 e 150 metros, regime de bombeamento de 16 horas por dia, vida útil do poço de 20 anos e 5 das bombas, e juros de 12%a.a.

No que diz respeito às tecnologias necessárias, não há limitação, tanto em termos de recursos humanos, como de equipamentos de perfuração e de bombeamento, para utilização racional das águas subterrâneas da RMSP.

Para apropriação destes potenciais de águas invisíveis, certamente que a solução implica numa regionalização e quiçá, setorização hidrográfica de gerenciamento, incluindo-se o controle do auto-abastecimento coletivo e/ou familiar. Em outras palavras, a gigantesca árvore em que se constitui o sistema centralizado de abastecimento, terá que ser substituída por uma plantação de árvores menores.

#### ASPECTOS DA VULNERABILIDADE E RISCO DE POLUIÇÃO

O primeiro critério de avaliação dos aspectos de vulnerabilidade tem por base as características de permeabilidade e porosidade, ou vocacionais do arcabouço geológico de acumulação e de fluxos subterrâneos. Estes aspectos associados a profundidade do nível das águas subterrâneas, são os determinantes dos graus de vulnerabilidade das águas subterrâneas nas áreas de recarga dos aquíferos, em geral, e do lençol freático, em particular. Nas zonas de descarga a vulnerabilidade torna-se, relativamente, mais baixa, na medida em que os fluxos sendo exudantes, impedem a infiltração dos contaminantes. Desta forma, nas áreas de recarga dos aquíferos, as medidas de proteção se fazem prioritárias e devem ser severamente controladas.

Considerando-se que o manto de intemperismo apresenta uma camada superficial relativamente menos permeável, esta deverá ser preservada nos morros e colinas, como forma preventiva de proteção natural das águas subterrâneas nos setores de recarga.

Nos domínios de ocorrência dos sedimentos da Bacia de São Paulo, a grande heterogeneidade e anisotropia do subsolo (corpos arenosos intercalados e/ou interdigitados em pacotes, não menos importantes, de siltitos e argilas) fazem com que os graus de vulnerabilidade sejam muito variados.

Estes aspectos são atenuados nos setores mais deprimidos do relevo, na medida em que estes constituem zonas de descarga dos fluxos subterrâneos regionais. Nestes setores torna-se necessário a adoção de perímetros de proteção dos poços, para evitar que a inversão dos fluxos subterrâneos induzam a infiltração dos poluentes superficiais (lixões, aterros de resíduos sólidos domésticos e/ou industriais, postos de gasolina, tancagem em geral de produtos tóxicos). Da mesma forma, em torno de fontes potencialmente poluidoras faz-se mister a determinação de perímetros de controle, dentro dos quais fica proibido perfurar poço para água de consumo humano.

## ASPECTOS DE MONITORAMENTO

A percepção da necessidade de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas ainda é muito recente. As primeiras ações tiveram início na Europa e América do Norte durante a década de 70 e passaram a fazer parte das rotinas de monitoramento durante a década de 80.

No Brasil, a legislação mais recente já adota muitas das posturas preconizadas e praticadas nos países desenvolvidos. Porém, a falta de ação dos órgãos públicos (Federais, Estaduais e Municipais), conforme estabelecem o Código de Águas de 1934, a Constituição Federal de 1988, a Constituição Estadual de 1989 e legislações complementares de 1991, faz com os poços abandonados e/ou mal construídos e a forma desordenadas de uso e ocupação do meio físico, possam se transformar em sérios focos de contaminação das águas subterrâneas na RMSP.

Seguindo-se o modelo internacional, o monitoramento deverá ser feito em três níveis principais:

- Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. Esta operação deverá ser desenvolvida pelos órgãos gestores dos recursos hídricos ou ambientais e consiste no monitoramento que tem por base os principais sistemas aquíferos dentro das unidades hidrográficas ou de planejamento/gerenciamento. Utiliza-se uma rede de poços produtores selecionados com base nas suas características construtivas, regime de utilização, condições de medida de nível e amostragem e grau de colaboração dos proprietários.

- Monitoramento de fontes de produção de água. Esta tarefa fica a cargo das empresas de abastecimento público e deverá ser realizada segundo normas estabelecidas pelos órgãos gestores de recursos hídricos, ambientais e de saúde pública. Além do poço produtor, a operação compreende uma rede de poços de monitoramento implantada com base em critérios hidrogeológicos locais, dentro dos perímetros de proteção, com vista a detectar a chegada de contaminantes potenciais.

- Monitoramento de fontes potenciais ou reais de poluição. Neste caso, a operação é realizada pelas empresas proprietárias, sob rigoroso controle dos órgãos oficiais de proteção ambiental, dentro do preceito do poluidor/pagador. Esta tarefa compreende uma rede de monitoramento específica, implantada com base em critérios hidrogeológicos locais, dentro do perímetro de controle ambiental de locais de disposição de resíduos perigosos diversos, instalações industriais, tancagem de matérias primas e/ou de produtos tóxicos, carcinogênicos e/ou mutagênicos, etc.

Como consideração final, assinala-se que a proteção dos mananciais subterrâneos é importante e prioritária na RMSP, como fator de qualidade de vida e ambiental, tal como já se percebe em relação aos mananciais de superfície.

## 8. - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 8.1. - CONCLUSÕES

A Região Metropolitana de São Paulo possui potenciais de águas subterrâneas relativamente importantes: 18.755 milhões de m<sup>3</sup> de reservas permanentes, 3.241 milhões de m<sup>3</sup>/ano de recargas e disponibilidades de 810 milhões m<sup>3</sup>/ano (25 m<sup>3</sup>/s ou 7,5 L/s.km<sup>2</sup>). Ademais, deve-se considerar que, dos 8.501 km<sup>2</sup> da RMSP, 61% são áreas legalmente protegidas e, conseqüentemente, de recarga efetiva do manancial subterrâneo. Por outro lado, os fluxos subterrâneos se dirigem para os setores mais deprimidos do relevo, os quais são ocupados pela urbanização, cobrindo cerca de 25% da área total. Neste contexto, as perdas de infiltração natural, devido a impermeabilização, são amplamente compensadas pelos vazamentos da rede de distribuição de água.

A exploração atual se faz por meio de cerca de 7.000 poços, cujos regimes de funcionamento variam desde menos de uma hora por dia até 6 horas por dia (15%), até 24 horas por dia (45%), extraindo da ordem de 203 milhões m<sup>3</sup>/ano, ou seja, cerca de 25% das disponibilidades avaliadas.

Estas disponibilidades são exploráveis por meio de poços cujas vazões individuais poderão situar-se entre 10 e 30 m<sup>3</sup>/h, ou seja, o suficiente para abastecer demandas localizadas correspondentes a populações entre 1000 e 3000 pessoas por poço. Isto significa que, baterias de 3 a 4 poços já poderiam abastecer populações de até 10 mil pessoas. Em setores da bacia sedimentar (Osp e Orf) é bem possível a obtenção de vazões entre 30 e 50 ou mais m<sup>3</sup>/hora.

A tendência (alta, média e baixa) dos potenciais hidrogeológicos, apresentada nos mapas na escala 1:50.000, deve ser entendida no seu caráter geral, pois, em função das grandes heterogeneidades dos meios aquíferos, tanto no contexto de rochas cristalinas, como da bacia sedimentar, a produtividade do poço vai depender da aplicação de uma boa tecnologia de locação e execução de um bom projeto de construção.

Em termos econômicos, os poços bem construídos atualmente, representam investimentos entre US\$ 20.000 e US\$ 40.000, resultando em custos de produção entre 10 e 40 centavos de dólar por m<sup>3</sup>, considerando-se uma vida útil de 20 anos para os poços, 5 anos para as bombas e juros de 12%a.a. Ademais, os prazos de estudo para locação e construção de poços destes portes, são, em geral, da ordem de dois meses, e poderão ser implantados na medida em cresce a demanda.

Quanto a qualidade viu-se que é, no plano geral, de boa a excelente, a exceção do ferro que é o elemento mais frequentemente restritivo, sobretudo nos poços que captam os aquíferos sedimentares. Os problemas bacteriológicos e de contaminação por metais, poderão ser facilmente evitados mediante a aplicação das normas técnicas de projeto e construção, e de perímetros de proteção, conforme já estabelecem os instrumentos legais e institucionais disponíveis.

A falta de controle da perfuração de poços e de suas características técnicas construtivas e operacionais, vem se constituindo na principal ameaça ao uso e proteção do manancial subterrâneo, não obstante a existência dos instrumentos legais e tecnológicos necessários.

A apropriação destes recursos vai exigir a implantação de um modelo de abastecimento setorizado, em termos físico-gerenciais, em consonância com o seu alcance para atendimento do grande número de demandas localizadas de pequeno porte, tais como núcleos urbanos, condomínios, conjuntos habitacionais, indústrias, atividades comerciais isoladas. No núcleo mais densamente urbanizado, as águas subterrâneas constituem recurso de grande valor estratégico, para resolver problemas de colapso periódico ou setorial do sistema principal de abastecimento.

Vale salientar que alguns setores da sociedade já foram atraídos pelo grande alcance econômico da utilização das águas subterrâneas na RMSP, em particular as indústrias, porém, a forma empírica e improvisada de extração vem engendrando sérios riscos à qualidade, além de representarem um grande desperdício de recursos hídricos e financeiros. Com efeito, muito embora já exista em operação cerca de 60% do número de poços estimado como necessário à utilização das disponibilidades, o volume extraído representa apenas cerca de 25% destas. Ademais, os poços mal construídos e/ou abandonados livremente, vem se constituindo em sérios riscos de contaminação das águas subterrâneas. Os maiores problemas para aplicação dos instrumentos legais e institucionais de uso e proteção das águas subterrâneas, são, de um lado, a falta de vontade política do executivo e legislativo e, de outro, a deficiência da infraestrutura administrativa e de pessoal no órgão público responsável. Esta situação de fragilidade e passividade do poder público acaba por anular os esforços e potencialidades dos setores tecnológicos no sentido do aproveitamento racional das águas subterrâneas, em particular, e dos recursos hídricos, em geral.

## RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações que decorrem do diagnóstico são as seguintes:

1 - Por em prática efetiva os instrumentos legais e institucionais disponíveis para uso e proteção das águas subterrâneas, mormente aqueles exigíveis para construção de novos poços.

2 - Proceder ao cadastramento dos poços existentes, avaliando in situ, as suas características técnicas construtivas, de produção, qualidade e uso, fazendo lacrar, por quem de direito ou responsabilidade, aqueles que estão abandonados ou que, por não apresentarem condições satisfatórias de captação de água para consumo direto ou indireto, representam risco de contaminação do aquífero em questão.

3 - Efetuar ampla divulgação pública das condições de uso e proteção das águas subterrâneas, que sendo reservas vitais para o conjunto da população, torna o problema de interesse geral.

4 - Dar prioridade a atuação descentralizada de abastecimento e controle das águas subterrâneas, nos âmbito dos municípios e/ou dos órgãos gestores de bacias hidrográficas. Neste particular vale mencionar o exemplo da cidade do México, a qual, tendo 50 m<sup>3</sup>/s provenientes de poços locados na sua malha urbana, buscou solução na privatização do sistema de produção e distribuição e controle da qualidade. Cada um dos quatro setores em que foi dividida a cidade ficou a cargo de um consórcio de empresas privadas nacionais e internacionais.

5 - Enquadrar as águas subterrâneas, recurso de importância vital, nos termos da Constituição Estadual, nos preceitos do usuário/pagador e poluidor/pagador, considerando as suas relações com as águas superficiais, ao nível do ciclo hidrológico e da qualidade ambiental.

6 - À locação e construção de poço para abastecimento público, coletivo ou individual de grande porte, nos setores de tendência alta ou média cartografados nos mapas hidrogeológicos na escala 1:50.000, deverá ser precedida de estudo hidrogeológico local, como forma de se obter o melhor resultado pelo preço justo, e sem os riscos financeiros inerentes à improvisação e empirismo ainda tão frequentes no setor.

Este trabalho é resultado do convênio realizado entre a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP e a Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências/Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas - CEPAS, contendo o Diagnóstico da Região Metropolitana de São Paulo.