

Cadernos de Educação Ambiental

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO GEOLÓGICO

1

1

Cadernos de Educação Ambiental

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Autoras

Mara Akie Iritani
Sibele Ezaki

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO GEOLÓGICO

SÃO PAULO • 2012

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto Geológico

Iritani, Mara Akie; Ezaki, Sibebe
I4a As águas subterrâneas do Estado de São Paulo/Mara Akie Iritani, Sibebe
Ezaki. – São Paulo : Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012.
104p.: il. Color.; 23cm. 3ª edição

ISBN 978.85.86624.56.8

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Aquíferos do Estado de São Paulo. I. Iritani, Mara Akie II. Ezaki, Sibebe III. Título

CDD 551.49

Disponível para *download* em www.igeologico.sp.gov.br

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
Governador

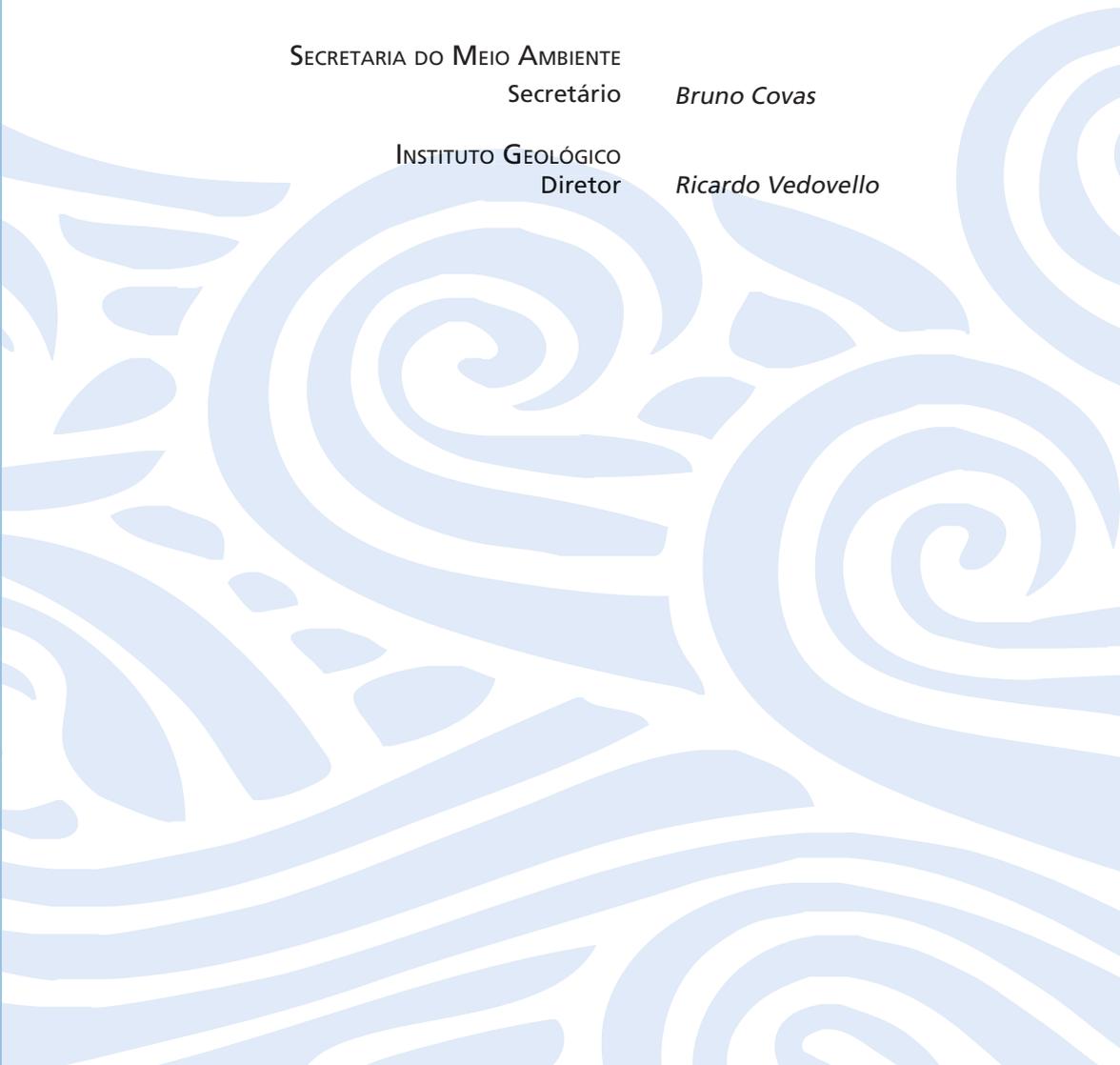
Geraldo Alckmin

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
Secretário

Bruno Covas

INSTITUTO GEOLÓGICO
Diretor

Ricardo Vedovello







A água é um dos recursos naturais essenciais à vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas. Por isso é fundamental cuidar muito bem de suas reservas e fontes, garantindo sua existência para toda a sociedade e para as gerações futuras.

Quando falamos em água, é muito comum pensar somente nos reservatórios aquáticos que podemos ver, como os rios, os lagos, as lagoas etc. Mas é imprescindível lembrar que, sob os nossos pés, existe também uma fonte enorme de recursos hídricos, a que chamamos de águas subterrâneas. Essas são encontradas nos aquíferos, importantes reservatórios de água no subsolo, e que são responsáveis pelo armazenamento da maior parte da água doce disponível para o consumo humano.

Os aquíferos do estado de São Paulo abastecem quase metade do território estadual, o que ressalta a importância da água subterrânea para a manutenção da saúde e bem estar da população paulista.

Conhecer os aquíferos é um passo fundamental para protegê-los.

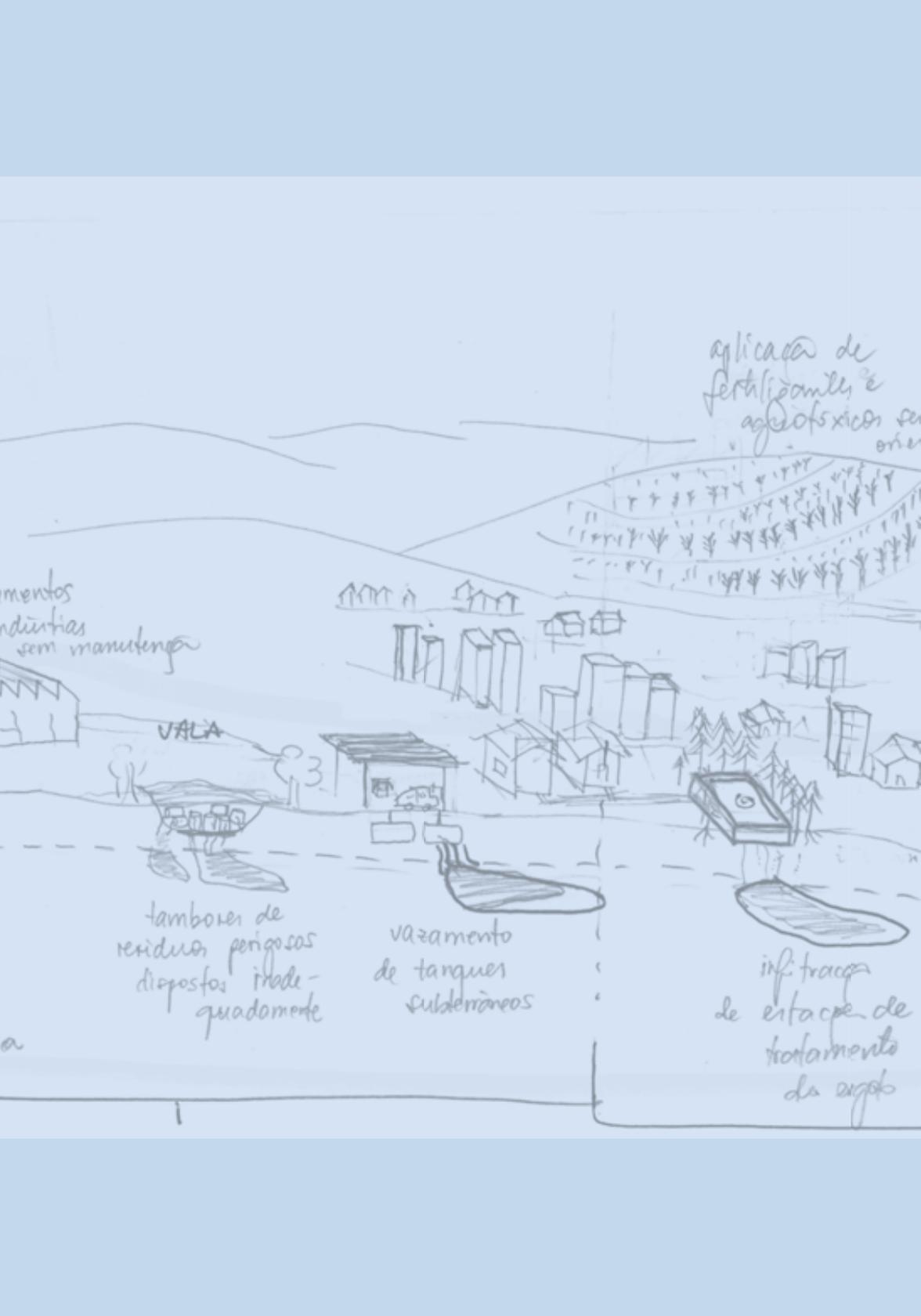
Ações de proteção estão sendo implementadas à medida que novos conhecimentos são gerados, mas é preciso difundi-los e divulgá-los para ampliar os esforços na proteção deste recurso.

Tendo isso em vista, a Secretaria do Meio Ambiente lançou o Caderno de Educação Ambiental “As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo”, que tem como objetivo conscientizar a sociedade de sua existência e importância e buscar no leitor um parceiro na proteção desse recurso natural vital.

Portanto, contamos com você para ajudar a disseminar esse conhecimento e para preservar esse recurso natural tão rico e importante à nossa vida.

BRUNO COVAS

Secretário do Meio Ambiente do Estado de São Paulo



aplicação de fertilizantes e agrotóxicos sem orientação

indústrias sem manutenção

VALA

tambores de resíduos perigosos dispostos inadequadamente

vazamento de tanques subterrâneos

infiltração de efluentes de tratamento de esgoto

O Instituto Geológico possui um longo histórico na produção de pesquisa na área da hidrogeologia, sempre buscando subsidiar a gestão e promover a proteção das águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

Os estudos desenvolvidos até o momento permitiram adquirir um conhecimento sobre os aquíferos do Estado de São Paulo e conquistar o reconhecimento de seu trabalho junto às diversas instituições que atuam no setor, com os quais o Instituto Geológico sempre teve experiências positivas de trabalho conjunto.

Um dos exemplos de sucesso de projeto foi o que resultou no Mapa de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, finalizado em 1997 e desenvolvido em parceria com a CETESB e o DAEE. Os resultados deste projeto subsidiaram, e ainda subsidiam, a priorização de estudos e pesquisas em áreas identificadas como críticas quanto ao risco potencial de poluição das águas subterrâneas.

O exemplo mais recente de sucesso foi a parceria com o DAEE, IPT e CPRM, que resultou na publicação do Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. A finalização deste produto, juntamente com a implantação do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, o qual o Instituto Geológico teve a satisfação de coordenar, motivou a elaboração deste Caderno.

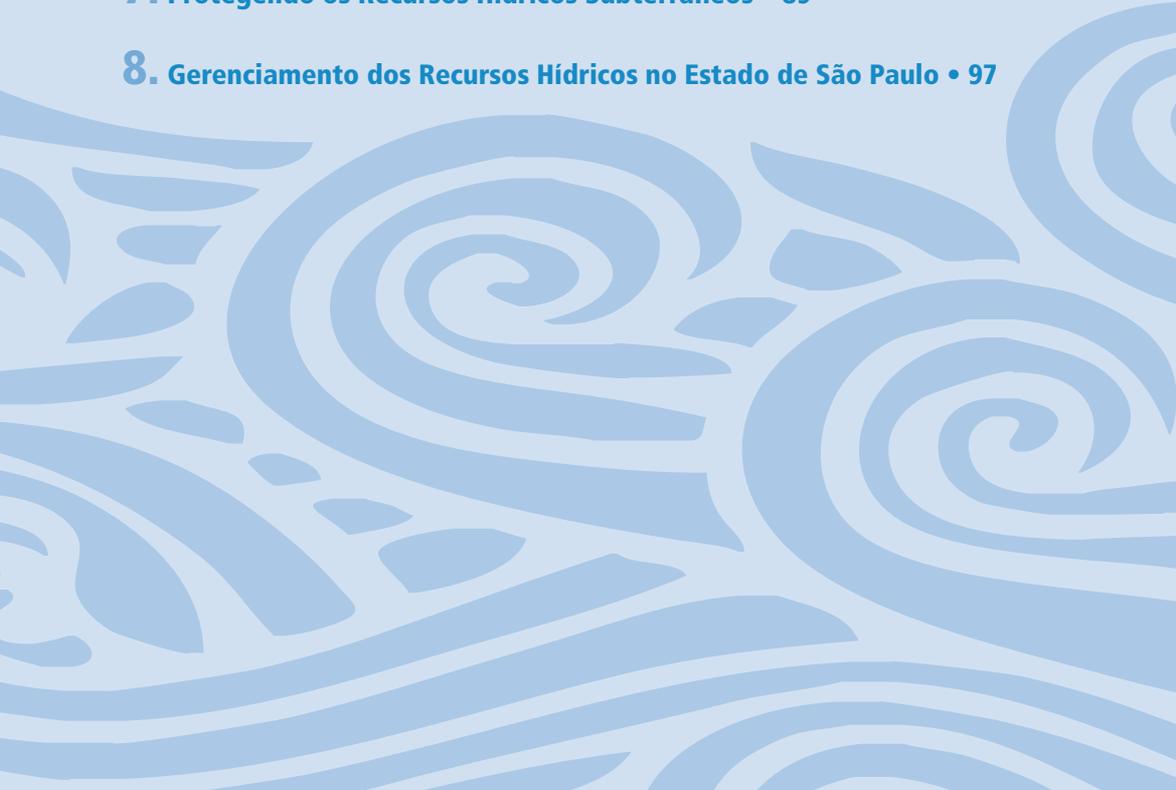
O objetivo é divulgar para o público em geral, informações sobre os aquíferos paulistas, em uma linguagem simples e acessível, buscando trazer o leitor como um parceiro na proteção da água subterrânea e reforçando as ações governamentais.

O Instituto Geológico sempre se esforçará na produção de conhecimento para subsidiar a proteção das águas subterrâneas, um recurso cada vez mais importante no abastecimento da população e no desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo.

RICARDO VEDOVELLO

Diretor do Instituto Geológico

SUMÁRIO

- 1. Ciclo da Água • 11**
 - 2. Água Subterrânea • 15**
 - 3. Os Aquíferos do Estado de São Paulo • 25**
 - 4. Como Captar a Água Subterrânea • 67**
 - 5. Ameaças às Águas Subterrâneas • 75**
 - 6. Água e Saúde • 85**
 - 7. Protegendo os Recursos Hídricos Subterrâneos • 89**
 - 8. Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo • 97**
- 

1. Ciclo da Água

1

1. Ciclo da Água

A água no planeta encontra-se nos estados sólido, líquido e gasoso, distribuída em diferentes reservatórios. A água no estado sólido ocorre nas geleiras; na forma gasosa, como vapor, está na atmosfera, em nuvens. Acima da superfície do solo, a água no estado líquido corre em rios, lagos e oceanos. Abaixo da superfície, a água é armazenada nos poros e outras aberturas existentes nas rochas. Além disso, os seres vivos – animais e plantas – também reservam água. No corpo de um adulto, cerca de 60% da massa corporal total é água, podendo variar de 45 a 75%, dependendo da idade e do sexo. No interior das células estão 2/3 dessa água e o restante, no espaço entre elas e na corrente sanguínea.

Estes reservatórios de água estão em permanente intercâmbio e a energia solar é o principal motor desta circulação. Assim, uma molécula de água que formava uma nuvem pode cair na forma de chuva, infiltrar no solo, ser captada por um poço e estar dentro de você um tempo depois. Este movimento da água entre diferentes reservatórios é o que chamamos de **ciclo da água**.

Ciclo da água



Existem diversos processos que controlam esta circulação, como a precipitação da água contida nas nuvens na forma de chuva, granizo e orvalho, ou mesmo como neve nas regiões frias ou com elevada altitude.

Outro processo é o escoamento superficial, no qual a água que precipita como chuva ou provém do degelo da neve e de geleiras, escoo no terreno em direção às porções mais baixas, como rios e lagos, em fluxo contínuo até encontrar o oceano.

As nuvens se formam pela evaporação da água presente nos continentes e nos oceanos e também pela transpiração dos seres vivos. A chuva, quando cai sobre as plantas, é interceptada pelas folhas e pode voltar a evaporar. A evaporação associada à transpiração das plantas é denominada de evapotranspiração.

O processo de infiltração permite que a água, precipitada nos continentes, ou resultante do degelo da neve, seja transferida para a subsuperfície, atingindo os estratos mais profundos. É nos poros do solo e dos sedimentos e nas fraturas da rocha que se concentra a água dos aquíferos. Mas ela não fica parada; circula, mesmo que lentamente, até atingir áreas de descarga, que podem ser rios, lagos, nascentes, áreas encharcadas e oceanos. Quando está a pouca profundidade, a água subterrânea pode, ainda, ser absorvida pelas raízes das plantas.

A descarga da água subterrânea nos corpos de água superficial é denominada de escoamento básico e é responsável por manter o nível da água dos rios e lagos em épocas sem chuva.

2. Água Subterrânea

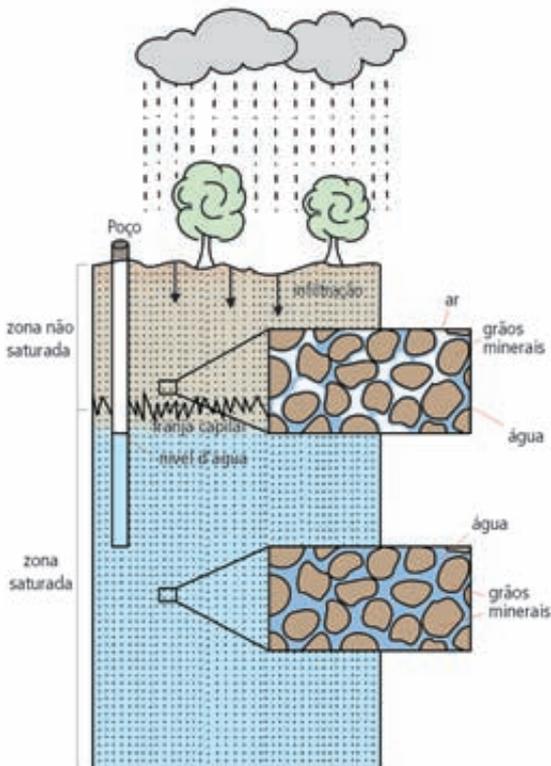
2

2. Água Subterrânea

O que é e onde fica a água subterrânea?

A água que existe abaixo da superfície do terreno circula nos espaços vazios, denominados poros, existentes entre os grãos que formam os solos e as rochas sedimentares. Em alguns tipos de rocha, a água circula através de fraturas, que são porções onde as rochas se romperam devido à movimentação da crosta terrestre.

Distribuição da água em subsuperfície



Ao se infiltrar no solo, a água da chuva passa por uma porção do terreno chamada de **zona não saturada** (ZNS) ou zona de aeração, onde os poros são preenchidos parcialmente por água e por ar. Parte da água infiltrada no solo é absorvida pelas raízes das plantas e por outros seres vivos ou evapora e volta para a atmosfera. O restante da água, por ação da gravidade, continua em movimento descendente.

No seu percurso, o excedente de água acumula-se em zonas mais profundas, preenchendo totalmente os poros e formando a **zona saturada** (ZS). Nas regiões áridas e semiáridas, os processos de evaporação e transpiração prevalecem, dificultando a infiltração da água até a zona saturada.

No topo da zona saturada existe uma faixa chamada de franja capilar, onde to-

dos os poros estão preenchidos por água, mas ela está presa aos grãos da rocha pelo efeito da capilaridade.

O limite entre as zonas não saturada e saturada é comumente chamado de lençol freático. Quando perfuramos um poço raso, o nível da água observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto, o qual é chamado de nível freático, nível d'água ou nível potenciométrico.

A profundidade do nível d'água pode variar ao longo do ano, pois sofre ação da variação do clima. Assim, em períodos chuvosos, há maior infiltração de água e o nível do lençol freático se eleva. No período de estiagem, com pouca infiltração e maior processo de evapotranspiração, o nível da água pode ficar mais profundo.

A água que circula na zona saturada é chamada de água subterrânea.

A quantidade de água armazenada na rocha depende da sua porosidade, isto é, o volume de poros vazios em relação ao volume total da rocha. Normalmente, depósitos de sedimentos inconsolidados (cascalho, areia, silte, argila), incluindo os solos, apresentam porosidade maior do que as rochas (arenito, calcário, folhelho, rochas fraturadas etc.). A porosidade também tende a ser maior em materiais com pouca variação no tamanho dos grãos, como nas areias uniformes, por exemplo, do que naqueles com grande variação granulométrica, onde partículas menores se alojam entre grãos maiores.

Porosidade total nos sedimentos e rochas sedimentares

Sedimentos(*)	Diâmetro da partícula (mm)	Porosidade total dos sedimentos (%)	Rochas Sedimentares (**)	Porosidade total das rochas (%)
Cascalho	> 2,0	24 – 38	Arenito	5 – 30
Areia grossa	0,2 – 2,0	31 – 46	Siltito	21 – 41
Areia fina	0,02 – 0,2	26 – 53	Calcário/Dolomito	0 – 40
Silte	0,002 – 0,02	34 – 61	Calcário cárstico	0 – 40
Argila	< 0,002	34 – 60	Folhelho	0 – 10

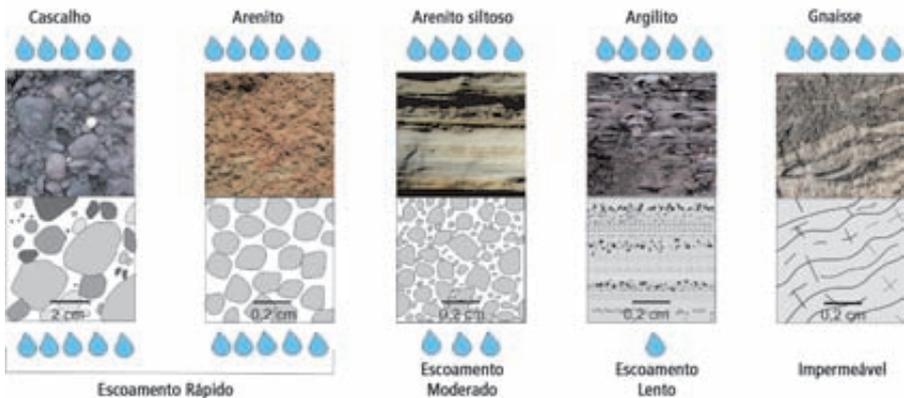
Fontes: (*) Domenico & Schwartz (1998); (**) Fetter (1994)

A água subterrânea, como um componente do ciclo hidrológico, está em constante circulação e flui, de modo geral, lentamente, através dos poros da rocha. Um dos parâmetros que influencia o fluxo da água subterrânea é a permeabilidade. Esta propriedade indica a facilidade com que a água flui através da rocha e está relacionada com o tamanho e o volume de poros interconectados (transmitindo fluxo), a forma, a distribuição e a variação do tamanho dos grãos.

Quanto mais homogêneos o tamanho e a distribuição dos grãos, maior é a interconexão entre poros e a capacidade do aquífero em transmitir água.

O argilito e o siltito apresentam elevada porosidade (35-60%), porém baixa permeabilidade. Assim, apesar de ter grande capacidade de armazenamento, deste tipo de formação rochosa não é possível extrair água em volume suficiente para o uso.

Exemplos de relação entre a litologia e a permeabilidade das rochas



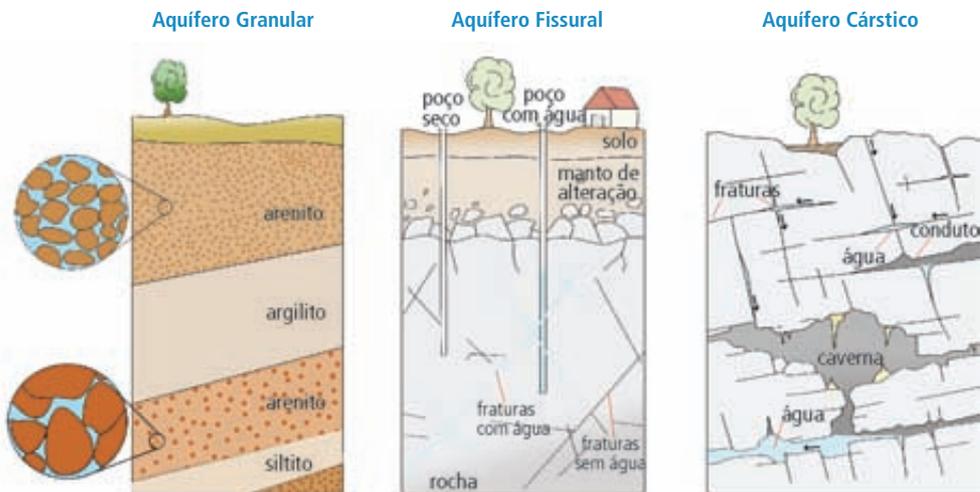
O que é um aquífero?

Aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos.

Os aquíferos podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha armazenadora em granular, fissural e cárstico.

As rochas sedimentares (arenitos, siltitos etc.) e os sedimentos não consolidados (areias, cascalhos etc.) são constituídos de grãos minerais. A água percola e permanece, temporariamente, armazenada nos vazios entre os grãos. A porosidade, neste caso, é do tipo granular e o aquífero é classificado como granular. Como a porosidade está intimamente ligada ao tipo de rocha, o aquífero é, muitas vezes, denominado de aquífero sedimentar.

Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha



Em rochas maciças e compactas, que não apresentam espaços vazios entre os minerais que as compõem, como os granitos e gnaisses, a porosidade é devido à presença de fraturas conectadas. Estas fendas originam-se da ruptura da rocha, devido a esforços físicos que ocorrem naturalmente na crosta terrestre ao longo da história geológica. Neste caso, o aquífero é denominado de fissural ou fraturado. Quanto maior a quantidade de fraturas na rocha, interligadas e preenchidas com água, maior será a potencialidade do aquífero em fornecer água.

Algumas rochas carbonáticas, como os calcários, sofrem lento processo de dissolução quando em contato com águas ácidas que infiltram por meio das fraturas da rocha. As águas ácidas são formadas pela combinação da água da chuva ou de rios com o dióxido de carbono (CO_2), proveniente da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica presente no solo. Com a progressiva dissolução destes condutos, formam-se cavidades, que podem resultar em galerias com rios subterrâneos e cavernas. Neste aquífero, chamado cárstico, a água flui por condutos e canais.

Os aquíferos também podem ser classificados quanto às suas características hidráulicas, em livres ou confinados, dependendo da pressão a que estão submetidos.

O **aquífero livre** (ou freático) está mais próximo à superfície, onde a zona saturada tem contato direto com a zona não saturada, ficando submetido à pressão atmosférica. Neste tipo, a água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada e recarrega diretamente o aquífero.

O **aquífero confinado** é limitado no topo e na base por camadas de rocha de baixa permeabilidade (como argila, folhelho, rocha ígnea maciça etc.). Não há zona não saturada e, neste caso, o aquífero está submetido a uma pressão maior que a atmosférica, devido a uma camada confinante acima dele, que também está saturada de água. Assim, o nível da água tem pressão para atingir uma altura acima do topo do aquífero, mas é impedida pela camada confinante. Neste caso, não podemos chamar o nível da água

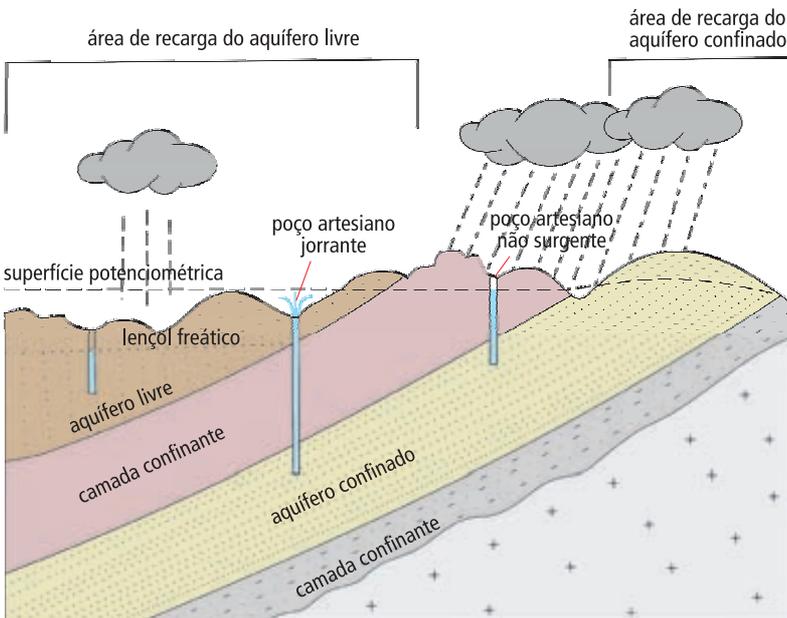
de freático, pois está submetido a uma pressão maior que a atmosférica. Em aquífero confinado, chamamos o nível da água de potenciométrico.

Ao perfurarmos um poço é possível verificar que o nível potenciométrico atinge altura acima do topo do aquífero confinado. Se a água do poço jorrar na superfície, significa que o nível potenciométrico da água encontra-se acima do terreno e neste caso, o poço é chamado de artésiano jorrante.

A água que recarrega o aquífero confinado precisa atravessar a camada menos permeável que está acima dele, em um processo bem lento, ou infiltrar na porção onde este aquífero se encontra livre.

Estas camadas de rochas saturadas, com baixa capacidade de transmitir água às rochas adjacentes, ou seja, com baixa permeabilidade, são consideradas aquitardes (exemplo: argila arenosa). Quando o material é impermeável, isto é, com certa capacidade de armazenar água mas sem capacidade de

Aquífero livre e Aquífero confinado



transmiti-la, utiliza-se o termo aquiclude (exemplo: argila). Por fim, as rochas impermeáveis que não armazenam e não transmitem água são denominadas aquífugos (exemplo: granito não fraturado e não alterado).

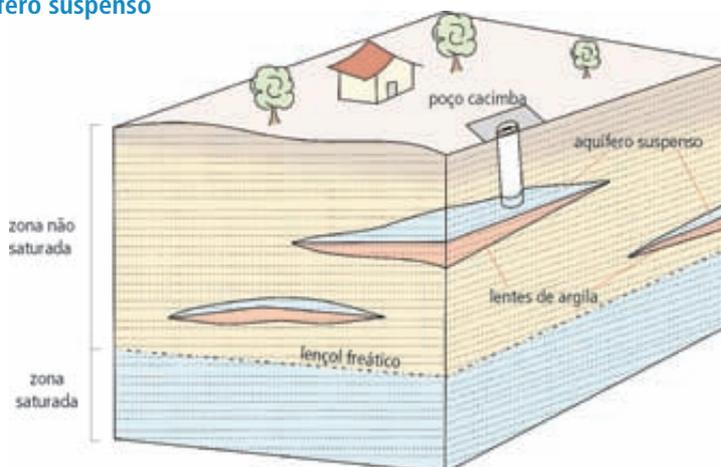
Quando a água infiltrada encontra uma barreira, com dimensão restrita na zona não saturada, tal como uma lente argilosa, por exemplo, pode se acumular e ficar armazenada temporariamente, formando o que chamamos de **aquífero suspenso**. Em épocas sem chuva, quando não há recarga, estes aquíferos suspensos podem se esgotar.

Recarga e Descarga de Aquíferos

As águas que recarregam os aquíferos normalmente provêm da chuva, que cai na superfície do terreno e infiltra nas áreas aflorantes das formações geológicas, onde o aquífero é livre. Estas regiões são denominadas de **áreas de recarga**.

A água circula lentamente pelos poros das rochas e sua velocidade depende das características geológicas de cada aquífero, podendo variar de um metro por dia a um metro por ano.

Aquífero suspenso



Desta forma, pode demorar semanas, meses, anos e até séculos, para que a água subterrânea circule da área de recarga para a área de descarga. Apenas em aquíferos cársticos ou muito fraturados, onde as fendas e condutos têm elevada conectividade, a velocidade pode ser bem maior.

As **áreas de descarga** são locais onde a água sai do aquífero, podendo, normalmente, voltar à superfície do terreno, em forma de nascente ou como escoamento básico, alimentando os córregos, rios e lagos.

A recarga também pode ocorrer pelo aporte de água vindo de outra unidade hidrogeológica, seja granular ou fraturada, em contato com o aquífero em questão. Por exemplo, um aquífero, apesar da baixa permeabilidade, pode permitir a transmissão de água para um aquífero confinado subjacente.

Pode ocorrer que o aquífero tenha recarga não natural, por exemplo, pela água que infiltra no solo devido ao vazamento das tubulações do sistema de abastecimento e saneamento, ou pelos excessos na irrigação de diferentes culturas.

Tempo de circulação da água subterrânea – recarga e descarga



3. Os Aquíferos do Estado de São Paulo



3. Os Aquíferos do Estado de São Paulo

Distribuição da Água Subterrânea e Potencialidade dos Aquíferos

A água subterrânea distribui-se nos diferentes aquíferos presentes no Estado de São Paulo, distintos por suas características hidrogeológicas como, por exemplo, tipo de rocha e forma de circulação da água, as quais se refletem na sua produtividade. No Estado de São Paulo, reuniram-se os aquíferos em dois grandes grupos: os Aquíferos Sedimentares e os Fraturados.

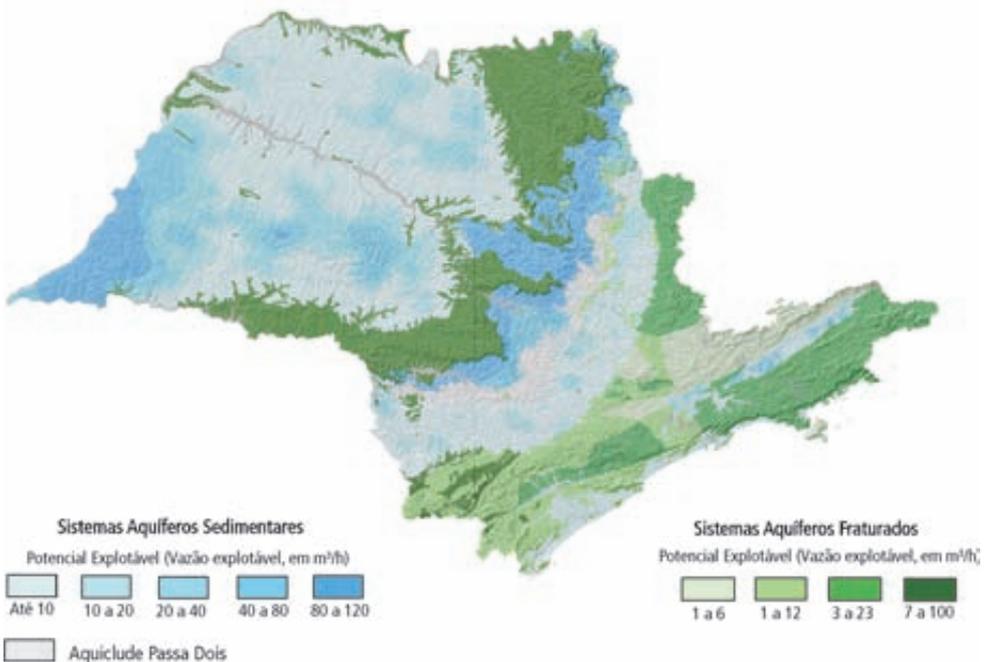
O grupo dos Aquíferos Sedimentares reúne aqueles constituídos por sedimentos depositados pela ação dos rios, vento e mar, onde a água circula pelos poros existentes entre os grãos minerais. No Estado de São Paulo, destacam-se, pela capacidade de produção de água subterrânea, os Aquíferos Guarani, Bauru, Taubaté, São Paulo e Tubarão.

O grupo dos Aquíferos Fraturados reúne aqueles formados por rochas ígneas e metamórficas. As rochas ígneas formaram-se pelo resfriamento do magma, sendo o granito a mais comum. Os gnaisses, xistos, quartzitos e metacalcários são exemplos de rochas metamórficas, geradas quando rochas ígneas ou sedimentares foram submetidas a mudanças significativas de temperatura e pressão. Como são rochas maciças e compactas, que não apresentam espaços vazios entre os minerais que as compõem, a água circula nas fraturas formadas durante e após o resfriamento da lava ou posteriormente à formação da rocha, decorrentes dos esforços gerados na movimentação de placas tectônicas. No Estado de São Paulo, destacam-se o Aquífero Serra Geral e o Aquífero Cristalino. Incluem-se, também, neste grupo, as rochas carbonáticas, como calcário e mármore, de porosidade cárstica, onde as fraturas são alargadas, formando cavidades e cavernas em razão da percolação de água, que dissolve lentamente os minerais constituintes da rocha.

No **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**, ilustrado a seguir, são representados, em azul, os Aquíferos Sedimentares e, em verde, os Aquíferos Fraturados. Os tons mais escuros, em ambos os casos, refletem o maior potencial produtivo dos aquíferos, isto é, sua capacidade em fornecer água. Observando o mapa, pode-se dizer que os aquíferos mais produtivos, representados por tons mais escuros, têm maior ocorrência na porção oeste do Estado.

Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo mostrando os principais aquíferos e suas potencialidades

Fonte: DAEE/IG/IPT/CPRM 2005.



Embora os aquíferos geralmente representem unidades de dimensão regional, não necessariamente apresentam características geológicas e hidrológicas homogêneas por toda a sua extensão. Podem apresentar variações no tamanho dos grãos, na quantidade e tipo de poros da rocha, e em outras propriedades em geral.

O Aquífero Tubarão, por exemplo, é conhecido por sua produtividade variável, pois corresponde a um espesso pacote sedimentar muito heterogêneo, com intercalações de camadas arenosas, siltsosas e argilosas, muitas vezes sem continuidade lateral. Em alguns locais, como nos municípios de Tietê, Capivari e Cerquilha, podem ocorrer lentes, isto é, camadas de pequena espessura e extensão limitada, de constituição arenosa, muito produtivas em água; em outros, pode haver predomínio de lentes argilosas, apresentando baixa produtividade.

Assim, antes de se construir poços para captar água subterrânea, deve-se conhecer a capacidade e o potencial de fornecimento de água dos aquíferos. Quanto mais permeável e poroso, maior a vazão que se pode bombear do aquífero, por meio de poços.

Para conhecer melhor os aquíferos do Estado de São Paulo, segue uma explanação de como se formaram e uma descrição das suas características.

Como se Formaram os Aquíferos

Os tipos de aquífero estão intimamente associados às unidades geológicas que ocorrem no Estado de São Paulo. As rochas que os compõem foram formadas em diferentes períodos geológicos, sob variados ambientes e climas. Estes fatores imprimiram propriedades hidrogeológicas diferenciadas a cada aquífero, as quais se refletem na sua produtividade e, também, na sua vulnerabilidade à poluição.

A porção leste do Estado de São Paulo é constituída por rochas mais antigas, formadas há mais de 550 milhões de anos. A este conjunto de

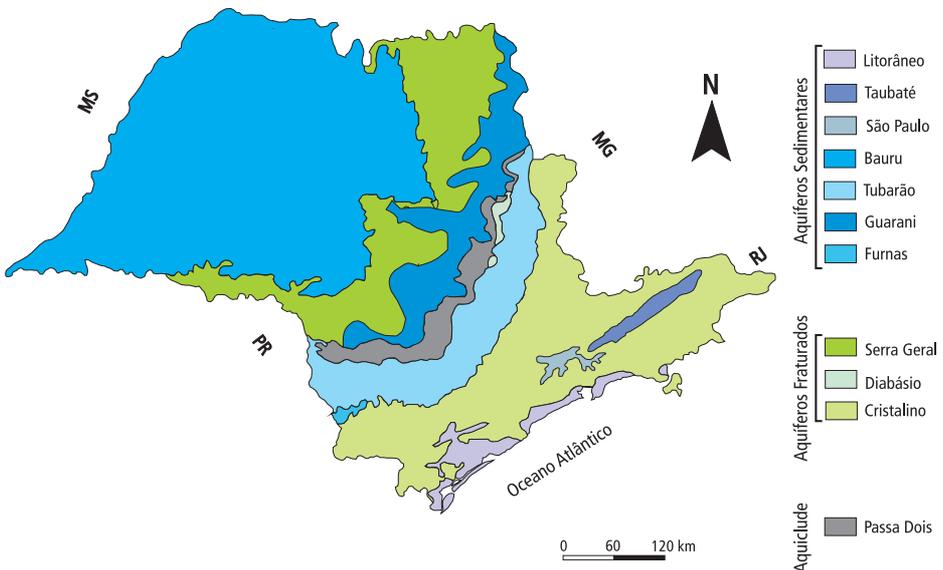
rochas denominamos Embasamento Cristalino, que constitui o Aquífero Cristalino, composto principalmente por rochas de origem ígnea, como os granitos, e metamórfica, como gnaisses, quartzitos, calcários etc.

Sobre o Embasamento Cristalino, entre 500 e 130 milhões de anos atrás, depositou-se uma sequência de sedimentos variados, formando o que denominamos de Bacia Sedimentar do Paraná, que ocupa toda a porção centro-oeste do Estado de São Paulo.

No início da formação desta Bacia, há cerca de 450 milhões de anos, a região foi ocupada pelo mar, que em alguns períodos, recuava, resultando em ambientes litorâneos e continentais; e em outros, voltava a avançar sobre a região. Nesta dinâmica, foram depositados sedimentos marinhos profundos, rasos ou litorâneos e sedimentos continentais, com influência ou não de degelo de calotas glaciais, até, aproximadamente, 250 milhões de anos atrás. Estes sedimentos, após a deposição, sofreram ação de re-

Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo

Baseado em IGG, 1974.



trabalhamento, compactação e consolidação, formando diferentes rochas que constituem os atuais Aquíferos Furnas e Tubarão e o Aquíclode Passa Dois.

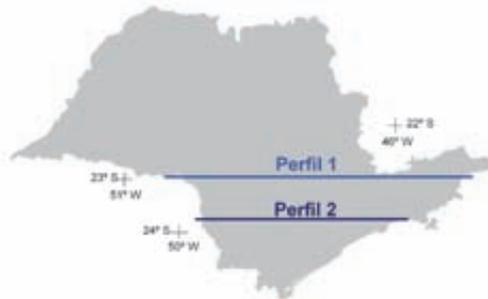
Em seguida, o mar foi se tornando mais restrito e a “continentalização” do ambiente foi acompanhada por modificação do clima, que se tornou desértico. Os sedimentos passaram a ser transportados, predominantemente, pelo vento. Em um primeiro momento, sob clima ainda um pouco úmido, formaram-se rochas sedimentares arenosas da Formação Pirambóia e, finalmente, sob clima desértico, a deposição de sedimentos eólicos formou os arenitos da Formação Botucatu. Pelas suas propriedades hidráulicas semelhantes, ambas as unidades passaram a compor o Aquífero Guarani.

Em um período aproximado de 138 a 127 milhões de anos atrás, ainda sob clima seco, um vulcanismo resultante da ruptura de porções da crosta terrestre, associado à separação do continente Sul-Americano da África, originou sucessivos derrames de lava, que recobriram os sedimentos da Bacia Sedimentar do Paraná, confinando o Aquífero Guarani situado abaixo. O resfriamento desta lava formou rochas denominadas de basalto e diabásio, que constituem os aquíferos fissurais Serra Geral e Diabásio.

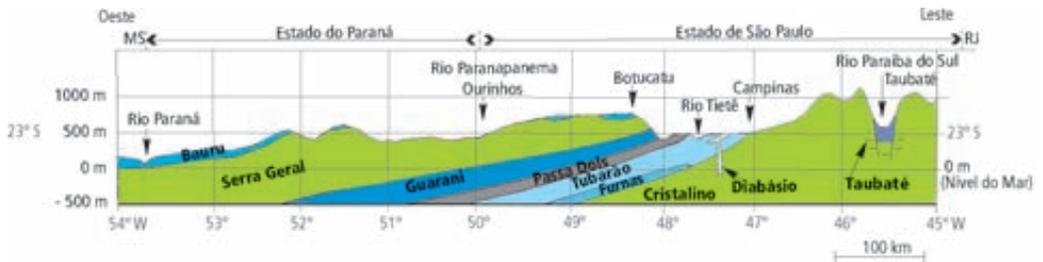
Cessado o período de derrames de lava, o clima foi se tornando mais úmido; e nova seqüência de sedimentos foi depositada até 65 milhões de anos atrás, formando a Bacia Sedimentar Bauru e dando origem a rochas que constituem o Aquífero Bauru.

Por fim, sedimentos passaram a ser depositados sobre as unidades mais antigas. Na porção leste do Estado, a consolidação destes sedimentos sobre o Embasamento Cristalino, há mais de 2 milhões de anos, originou os Aquíferos São Paulo, Taubaté e Litorâneo.

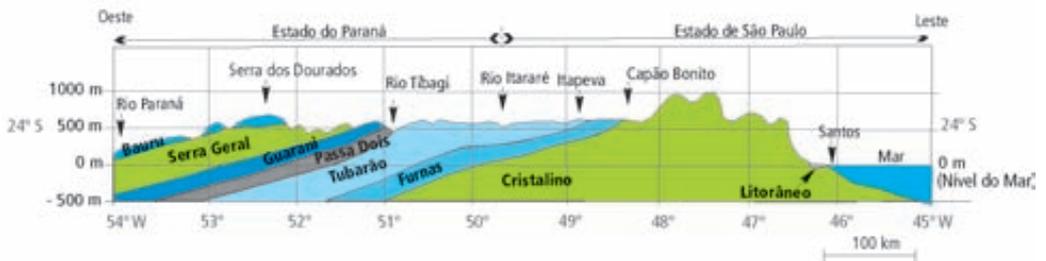
Perfis hidrogeológicos esquemáticos do Estado de São Paulo.



Perfil Esquemático 1 dos Aquíferos do Estado de São Paulo



Perfil Esquemático 2 dos Aquíferos do Estado de São Paulo



Perfis elaborados por Geraldo H. Oda com base em IGG (1974), IPT (1981), DNPM/CPRM (1983)

As Unidades Hidrogeológicas do Estado de São Paulo

Aquífero Cristalino



O Cristalino é um aquífero fraturado e de extensão regional. Formado há mais de 550 milhões de anos, é composto pelas rochas mais antigas do Estado de São Paulo. Aflora na porção leste do território paulista, em área de 53.400 km², abrangendo cidades como Campos de Jordão, Águas de Lindóia, Jundiaí, Tapiraí, Iporanga, dentre outras, a Região Metropolitana de São Paulo, chegando até o litoral.

Os poços que o exploram estão concentrados nesta parte aflorante, com comportamento de aquífero livre. Estes poços atingem, em geral, 100 a 150 metros de profundidade, uma vez que a ocorrência de fraturas abertas ao fluxo da água tende, na maioria dos casos, a diminuir em níveis mais profundos.

O Aquífero Cristalino é composto por rochas de origem ígnea e metamórfica que se estendem para o oeste do Estado, abaixo da Bacia Sedimentar do Paraná, a grandes profundidades, o que impossibilita sua utilização. Constituem, portanto, o embasamento sobre o qual os aquíferos sedimentares se depositaram.

As fendas mais favoráveis ao armazenamento e ao fluxo da água subterrânea são as fraturas geradas posteriormente à formação das rochas, resultado dos esforços tectônicos que atuaram na crosta terrestre, como, por exemplo, a separação dos continentes e a formação da Serra do Mar.

De acordo com o tipo de porosidade fissural que se desenvolve nas rochas, o Cristalino é dividido em duas unidades:

- * o Aquífero Pré-Cambriano, que apresenta porosidade fissural representada apenas por fraturas na rocha. Esta unidade é predominante e

ocupa a maior área de ocorrência, abrangendo o norte, nordeste e sudeste do Estado de São Paulo. Sua produtividade é baixa e bastante variável, estando condicionada à presença de fraturas abertas. A vazão média dos poços é em torno de 5 m³/h (equivalente a 5.000 litros por hora), mas é comum encontrar poços próximos com vazões muito diferentes devido à variação no número, tipo, abertura e conexão das fraturas. Fernandes *et al.* (2005 in DAEE/IG/IPT/CPRM 2005) definiram vazões prováveis nesta unidade, variando de 1 a 23 m³/h, com área menos produtiva na região ao norte do Rio Paraíba do Sul, entre Campos de Jordão, Bragança Paulista e Francisco Morato.

* o Aquífero Pré-Cambriano Cárstico, que apresenta porosidade cárstica, representada por fraturas alargadas pela dissolução dos minerais carbonáticos das rochas calcáreas. Quando esta dissolução é intensa ou de longa duração, pode gerar cavernas. Esta unidade tem ocorrência restrita no sul do Estado de São Paulo, entre a região do Vale do Rio Ribeira de Iguape e cidades como Capão Bonito, Ribeirão Branco e Bom Sucesso de Itararé. A produtividade desta unidade é pouco conhecida devido à pequena quantidade de poços existentes. Entretanto, como está condicionada às feições de dissolução, sua produtividade é variável e as vazões calculadas como prováveis por Fernandes *et al.* (2005 in DAEE/IG/IPT/CPRM 2005) estão entre 7 e 100 m³/h por poço. Ocorrências restritas de rochas carbonáticas podem ser encontradas em outras porções do Estado, como por exemplo, no município de Cajamar.

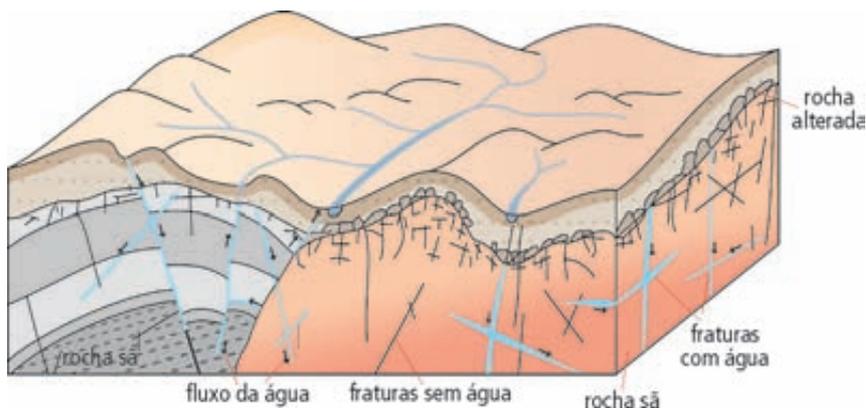
A água do Aquífero Cristalino apresenta boa qualidade para consumo humano e outros usos em geral.

Deve-se, no entanto, dar especial atenção à proteção de qualidade das águas da unidade Pré-Cambriana, por ocorrer como aquífero livre em áreas populosas e industrializadas, como na Região Metropolitana de São Paulo e na região entre Campinas e Sorocaba. Nessas áreas, apesar da baixa e irregular produtividade do aquífero, é utilizado para abastecimento complementar de pequenas comunidades em municípios como Bananal,

Jambeiro, Jarinu, Embu Guaçu e Piedade, assim como para uso industrial, permitindo o desenvolvimento da região, apesar da limitação da oferta de água superficial com qualidade.

Já, na unidade Pré-Cambriana Cárstica, a velocidade da água geralmente é alta e qualquer contaminação pode se espalhar rapidamente, exigindo cuidados especiais para sua proteção, como, por exemplo, restrições mais rígidas de ocupação do solo no entorno das feições de dissolução e em locais onde as rochas estão muito fraturadas.

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Cristalino



Rochas do Aquífero Cristalino – unidade Pré-Cambriana

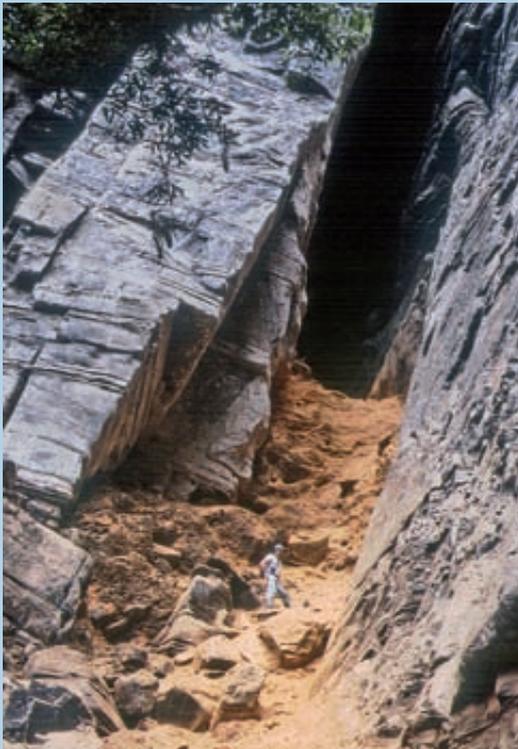


Águas de Lindóia (SP) – Vista geral do Aquífero Cristalino.
Foto: Seiju Hassuda



Águas de Lindóia (SP) - Nascente em quartzitos da Fonte São Roque. Foto: Francisco de Assis Negri

Feições cársticas do Aquífero Cristalino – unidade Pré-Cambriana Cárstica



Iporanga (SP) – Cavernas. Foto: Artur Deodato Alves.

Iporanga (SP) – Entrada da caverna Laje Branca.
Foto: William Sallun Filho

Aquífero Furnas



O Aquífero Furnas é um aquífero sedimentar de extensão restrita, aflorando apenas no sul do Estado de São Paulo, em uma área de aproximadamente 530 km². Nesta pequena área tem comportamento de aquífero livre.

Este aquífero foi depositado sobre o Embasamento Cristalino e segue para o oeste, em profundidade, confinado pelo Aquífero Tubarão.

Pela ocorrência restrita e por ser pouco explorado no Estado de São Paulo, não há informações disponíveis suficientes para avaliar a extensão desta porção confinada. O aquífero estende-se, também, para o Estado do Paraná, onde tem ocorrência mais expressiva.

O Aquífero Furnas é constituído por arenitos quartzosos, de granulometria média a grossa, e conglomerados na parte basal, depositados entre 395 a 345 milhões de anos atrás, em ambiente marinho.

Na porção aflorante, sua espessura atinge, em média, cerca de 100 metros. No município de Itararé, onde está confinado pelos sedimentos do Aquífero Tubarão, registraram-se espessuras de até 180 metros.

Em sua porção livre no Estado de São Paulo, Takahashi (2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005) recomenda vazão explorável de até 10 m³/h por poço, mas na medida em que houver novas informações e estudos mais aprofundados, a potencialidade deste aquífero poderá ser reavaliada. Até o momento, o Aquífero Furnas é considerado como de produtividade baixa a média. Sua água apresenta boa qualidade para consumo humano e outros usos.

Aquífero Tubarão



O Aquífero Tubarão é um aquífero sedimentar de extensão regional. Aflora em uma faixa estreita de aproximadamente 20.700 km², que se estende do nordeste ao sul do Estado de São Paulo, passando por cidades como Casa Branca, Ita-

petininga, Itu e Itararé. Nesta porção aflorante, onde tem comportamento de aquífero livre, sua espessura aumenta de leste para oeste, atingindo valores de até 800 metros.

Seguindo em sentido oeste do Estado, o aquífero mergulha suavemente, confinado pelo Aquiclude Passa Dois e por outras unidades hidrogeológicas sobrejacentes, atingindo profundidades de até 2.000 metros abaixo do nível do mar.

Devido a esta grande profundidade na porção confinada e a uma produtividade relativamente baixa, em comparação aos outros aquíferos sedimentares, o Aquífero Tubarão é explorado, predominantemente, na sua parte aflorante.

Formado há cerca de 250 milhões de anos, o Aquífero Tubarão é constituído por sedimentos depositados em ambientes glacial, continental e marinho. As litologias encontradas, bastante heterogêneas, são siltitos, argilitos, folhelhos, diamictitos, arenitos muito finos a conglomeráticos e ritmitos que ocorrem como camadas com diferentes espessuras, intercaladas e descontínuas.

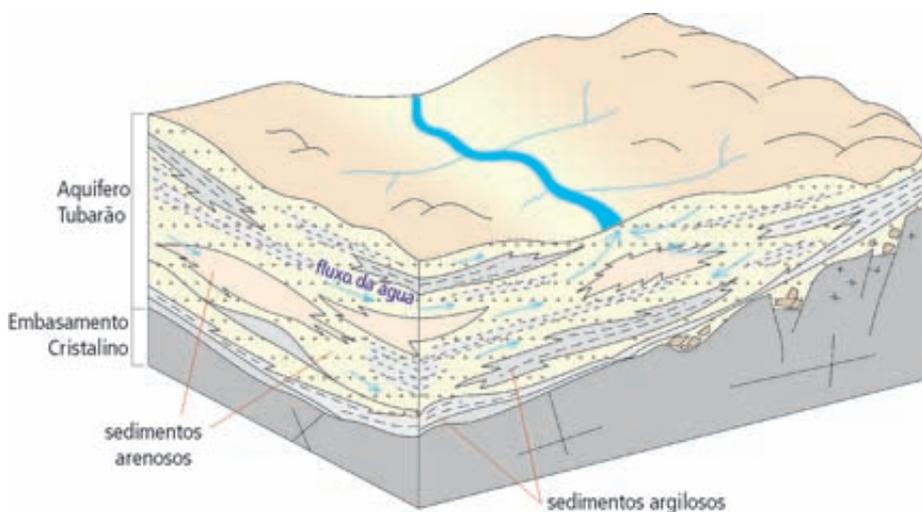
O aquífero apresenta uma produtividade baixa, onde as vazões sustentáveis recomendadas situam-se, em geral, abaixo de 10 m³/h (10.000 litros por hora) por poço.

Ocorrências localizadas de litologias mais arenosas e, eventualmente, associadas ao fraturamento das rochas, são responsáveis por maiores produtividades de água, cujas vazões sustentáveis recomendadas podem atingir até 40 m³/h (Oda 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005). Algumas áreas mais produtivas foram identificadas na região entre Araras e Casa Branca e nas cidades de Barão de Antonina, Itapeva, Pilar do Sul, Iperó, Tietê e Capivari.

A heterogeneidade é uma característica marcante deste aquífero e é comum encontrar poços próximos com vazões bem diferentes. Esta situação ocorre, principalmente, na Região Metropolitana de Campinas e na região de Itu-Sorocaba, pois o aquífero pode ser truncado, eventualmente, por uma rocha ígnea dura chamada diabásio, originada pelo resfriamento da lava abaixo da superfície do terreno, que dificulta o fluxo da água subterrânea.

De modo geral, as águas do Aquífero Tubarão apresentam boa qualidade para consumo humano e outros usos em geral. Em comparação aos demais aquíferos, a água do Aquífero Tubarão apresenta maior teor de sais, eventualmente com enriquecimento de sódio, fluoreto e sulfato.

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Tubarão



Afloramentos do Aquífero Tubarão



Campinas (SP) – Arenitos.
Foto: Sibebe Ezaki



Itu (SP) – Ritmitos
(alternância de camadas
de arenitos e siltitos).
Foto: Sibebe Ezaki



Itu (SP) – Detalhe do ritmo de Itu.
Foto: Sibebe Ezaki

Aquiclude Passa Dois



O Aquiclude Passa Dois é uma unidade hidrogeológica sedimentar de extensão regional que separa os Aquíferos Tubarão e Guarani.

Formado entre 250 e 230 milhões de anos atrás, este aquiclude é formado por sedimentos depositados em ambiente marinho. As litologias encontradas, bastante heterogêneas, são predominantemente de folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos que ocorrem como cama-

das com diferentes espessuras, às vezes, ritmicamente intercaladas.

Como é constituído por sedimentos predominantemente finos, sua capacidade em fornecer água é bastante baixa e com produtividade insuficiente para o abastecimento de grandes comunidades. Dessa forma, é denominado, regionalmente, de aquiclude. Algumas vezes, é classificado, localmente, como aquitarde, pois pode apresentar, eventualmente, fraturas na rocha com certa produtividade de água.

Esta unidade aflora em uma faixa estreita de aproximadamente 6.900 km², que se estende do norte ao sul do Estado de São Paulo, passando pelas cidades de Porto Ferreira, Pirassununga, Rio Claro, Cesário Lange, Angatuba, Paranapanema e Fartura. Nesta porção aflorante, sua espessura média é em torno de 120 metros (IG/CETESB/DAEE 1997).

Devido à produtividade bastante baixa, esta unidade é pouco explorada e, conseqüentemente, pouco estudada do ponto de vista hidrogeológico.

Afloramentos do Aquiclude Passa Dois



Rodovia dos Bandeirantes, Limeira (SP) – Argillitos da Formação Corumbataí. Fotos: Sibeles Ezaki.



Cesário Lange (SP) - Intercalações de folhelhos e calcários da Formação Irati. Fotos: Sibeles Ezaki

Aquífero Guarani



O Aquífero Guarani é um aquífero sedimentar e de extensão regional, considerado um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, estendendo-se por 1.087.879 km².

Ocorre no oeste do Estado de São Paulo e também se estende pelos estados de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, chegando até os países vizinhos Uruguai, Paraguai e Argentina. Sua maior parte, 735.918 km², que corresponde a cerca de 61% de sua área total, está em território brasileiro (OEA 2009).

A porção aflorante deste aquífero, isto é, aquela que podemos observar na superfície do terreno e que tem comportamento de aquífero

Área de ocorrência do Aquífero Guarani na América do Sul



Fonte: Borghetti *et al.* 2004

livre, é pequena ao compararmos com sua área total. No Estado de São Paulo, a porção aflorante estende-se por cerca de 17.700 km², de Rifaina, ao norte, a Fartura, ao sul, passando pela região de Ribeirão Preto e Botucatu. Nesta porção aflorante, a espessura média atinge aproximadamente 100 metros.

Sua maior área de ocorrência no Estado, cerca de 142.958 km², mergulha em sentido oeste, e é confinada pelos basaltos do Aquífero Serra Geral e pelas rochas do Aquífero Bauru. Chega a atingir cerca de 400 metros de espessura ao longo da calha do rio Tietê. No extremo oeste do Estado, o topo do aquífero situa-se em torno de 1.300 metros abaixo do nível do mar na região de Presidente Prudente, junto ao rio Paraná (DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

Formado há cerca de 130 milhões de anos, é constituído, predominantemente, por arenitos de granulação média a fina, depositados pela ação eólica, em um ambiente desértico. Como este arenito é bastante homogêneo, possui grande quantidade de poros interconectados, que imprime uma elevada capacidade de armazenar e fornecer água.

O Aquífero Guarani possui, também, em menor proporção e na sua parte basal, sedimentos predominantemente arenosos, depositados em ambiente fluvial e lacustrino. O fluxo da água subterrânea segue da porção de afloramento, a leste, para a região sudoeste do Estado onde está o Rio Paraná. A principal área de recarga corresponde à sua porção aflorante, onde a água da chuva cai sobre a superfície do terreno e infiltra diretamente no aquífero.

Graças a sua ótima produtividade e qualidade da água, muitas cidades do interior paulista são abastecidas por este aquífero, como São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Araçatuba na área de confinamento, e Ribeirão Preto, Araraquara e São Carlos na área de afloramento.

Atualmente, apesar de existirem poços bombeando vazões superiores a 500 m³/h, estudos (DAEE/IG/IPT/CPRM 2005) recomendam vazões

Afloramento do Aquífero Guarani



Altinópolis (SP) –
Arenitos da Formação
Botucatu, parte
superior do Aquífero
Guarani.

Foto: Amélia J. Fernandes.

Afloramentos do Aquífero Guarani



Rodovia Castelo Branco, km 170 (SP) – Arenitos da Formação Pirambóia, na base do Aquífero Guarani.
Foto: Sibebe Ezaki.



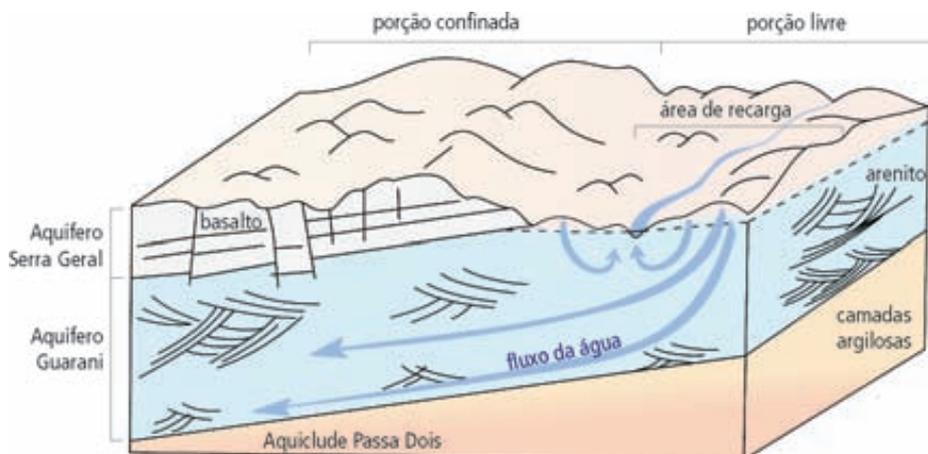
Rodovia Castelo Branco, km 170 (SP) – Arenitos da Formação Pirambóia.
Foto: Sibebe Ezaki

sustentáveis de até 360 m³/h por poço, de forma a evitar a superexploração. As vazões exploráveis recomendadas para a área de afloramento estão entre 20 a 80 m³/h por poço. Na área confinada, pode-se obter maiores vazões, uma vez que a espessura do aquífero também aumenta. A vazão de 360 m³/h por poço, isto é, 360 mil litros por hora, é suficiente para abastecer cerca de 30.000 habitantes.

Uma característica interessante dos aquíferos confinados é o potencial geotermal, pois a temperatura da água se eleva com o aumento da profundidade. O Aquífero Guarani, por alcançar profundidades maiores que 1.000 metros na região sudoeste do Estado, chega a atingir temperaturas de 60° C. Existem estâncias turísticas que captam estas águas termais para uso recreativo em parques e clubes, como em São José do Rio Preto.

Além disso, as águas são, em geral, de boa qualidade para o consumo humano e outros usos.

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Guarani



Aquífero Serra Geral

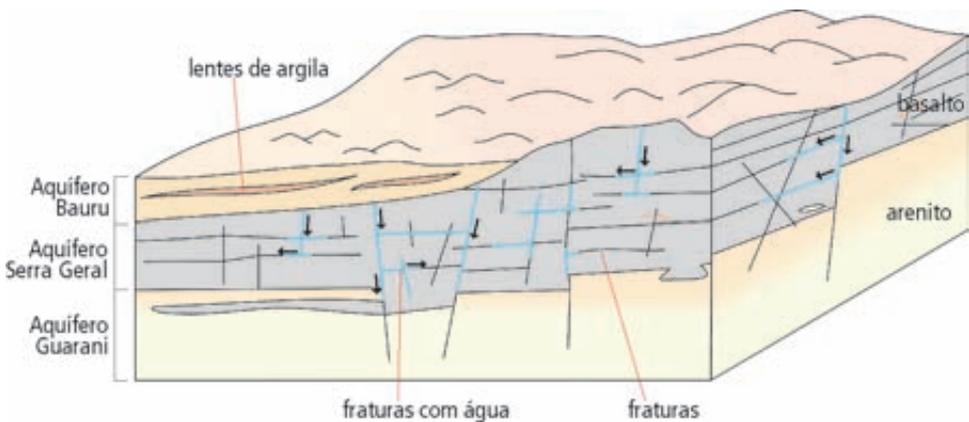


O Aquífero Serra Geral é um aquífero fraturado, de extensão regional. Ocupa a metade oeste do Estado de São Paulo, mas em sua maior parte, está recoberto pelo Aquífero Bauru. Sua porção aflorante, onde tem comportamento de aquífero

livre, ocupa uma área de 31.900 km², que se estende por cidades como Franca, Sertãozinho, Jaú e Ourinhos.

Formado entre 138 e 127 milhões de anos atrás, o aquífero é constituído por uma sequência de derrames de lava vulcânica, que originaram as rochas basálticas. Os basaltos são rochas compactas, duras, de coloração escura que, quando alteradas ou intemperizadas pela ação da água e do calor, resultam em um solo argiloso, bastante fértil, popularmente denominado de "terra roxa".

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Serra Geral



Nos basaltos, as aberturas favoráveis ao armazenamento e ao fluxo da água subterrânea são fraturas originadas durante o resfriamento dos derrames de lava e, também, posteriormente à consolidação das rochas como resultado dos esforços tectônicos decorrentes da movimentação da crosta terrestre. Entre os derrames de lava, podem existir, também, outras feições geológicas favoráveis à circulação de água, representadas por camadas arenosas restritas e níveis de amígdalas e vesículas (bolhas aprisionadas durante o resfriamento da lava, gerando estruturas em forma de pequenas cavidades, ocas ou preenchidas por minerais).

Na área aflorante, onde se concentra grande parte dos poços existentes, a espessura do Aquífero Serra Geral alcança, em média, cerca de 300 metros. Sua espessura aumenta para oeste, onde está recoberto pelo Aquífero

Bauru, atingindo mais de 1.500 metros em Presidente Prudente.

A vazão mediana deste aquífero é em torno de $23 \text{ m}^3/\text{h}$ por poço (Fernandes *et al.* 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005), mas sua produtividade é bastante variável, ocorrendo poços com vazões próximas de zero a superiores a $100 \text{ m}^3/\text{h}$, o que permite contribuir para o abastecimento de cidades como Sales de Oliveira. Este aquífero apresenta, de forma geral, água de boa qualidade para consumo humano e outros usos.



Itirapina (SP) – Basalto na Cachoeira do Saltão. Foto: Sibebe Ezaki

Afloramentos do Aquífero Serra Geral



Ribeirão Preto (SP) –
Basalto.
Foto: Amélia João Fernandes.



Ribeirão Preto (SP) –
Detalhe de fraturas
no basalto.
Foto: Amélia João Fernandes.

Aquífero Diabásio



O Aquífero Diabásio é um aquífero fraturado, com extensão restrita, ocorrendo como manchas em meio aos aquíferos Tubarão e Guarani e no Aquicludo Passa Dois, principalmente, na região nordeste do Estado de São Paulo.

Formado no mesmo evento geológico que o Aquífero Serra Geral, entre 138 e 127 milhões de anos atrás, é constituído por rochas ígneas, denominadas de diabásios, geradas a partir do resfriamento e solidificação do magma em subsuperfície, a diferentes profundidades e encaixadas em rochas mais antigas. Os diabásios, rochas bastante duras e de coloração escura, ocorrem como corpos subhorizontais (soleiras) e verticais (diques), por vezes aflorantes na superfície do terreno.

A circulação e o armazenamento da água subterrânea, neste aquífero, estão condicionados à ocorrência de fraturas geradas por esforços tectônicos decorrentes da movimentação da crosta terrestre.

Sua produtividade é baixa e bastante variável, apresentando poços com vazões entre 1 e 12 m³/h (Fernandes *et al.* 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

A água deste aquífero apresenta boa qualidade para consumo humano e outros usos.

Afloramento do Aquífero Diabásio



Limeira (SP) – Rodovia dos Bandeirantes – Diabásio em corte de estrada
Fotos: Sibebe Ezaki



Limeira (SP) – Rodovia dos Bandeirantes – Detalhes das fraturas no diabásio.
Fotos: Sibebe Ezaki

Aquífero Bauru



O Aquífero Bauru é um aquífero sedimentar, de extensão regional. Ocupa a metade oeste do Estado de São Paulo, numa área de cerca de 96.900 km², ocorrendo de Barretos a Bauru e estendendo-se até o Pontal do Paranapanema.

Sua área é totalmente aflorante em superfície, isto é, não tem qualquer outra unidade geo-

lógica confinando suas águas, o que lhe confere comportamento de aquífero livre. Isto significa que a recarga de água se faz por toda sua extensão. Por ser um aquífero livre e a água subterrânea situar-se a pouca profundidade, a perfuração de poços e a extração de água neste aquífero são facilitadas. Cerca de 240 municípios do interior paulista captam água do Aquífero Bauru, como por exemplo, Andradina, Araçatuba, Presidente Prudente e Marília. Destes, 87% são abastecidos, integralmente, por água subterrânea (Silva *et al.* 2005).

Formado há mais de 65 milhões de anos, este aquífero é composto por rochas sedimentares arenosas, areno-argilosas e siltosas, depositadas em ambiente desértico e fluvial, sob clima árido e semiárido. Sua espessura é irregular, atingindo valores superiores a 300 metros na região do Planalto de Marília, cujos espigões e escarpas são sustentados por espessa sequência de sedimentos areno-argilosos e carbonáticos, característicos deste local.

Na sua porção superior, os arenitos são intercalados por camadas de sedimentos de granulometria fina, como lamitos e siltitos, ou possuem uma cimentação de mineral carbonático entre os grãos de areia, o que diminui a capacidade deste aquífero de armazenar e transmitir água. Estes sedimentos são predominantes em termos de área de ocorrência, estendendo-se nas áreas norte, leste e sudeste de abrangência deste aquífero. Esta característica reflete na sua produtividade, onde as vazões sustentáveis recomendadas ficam, em geral, abaixo de 10 m³/h por poço, podendo

Afloramentos do Aquífero Bauru



Echaporã (SP) –
Rodovia SP 333.
Foto: Francisco de Assis Negri.



Rodovia Castelo Branco
(SP) – Arenito argiloso.
Foto: Alethéa Ermandes
Martins Sallun.

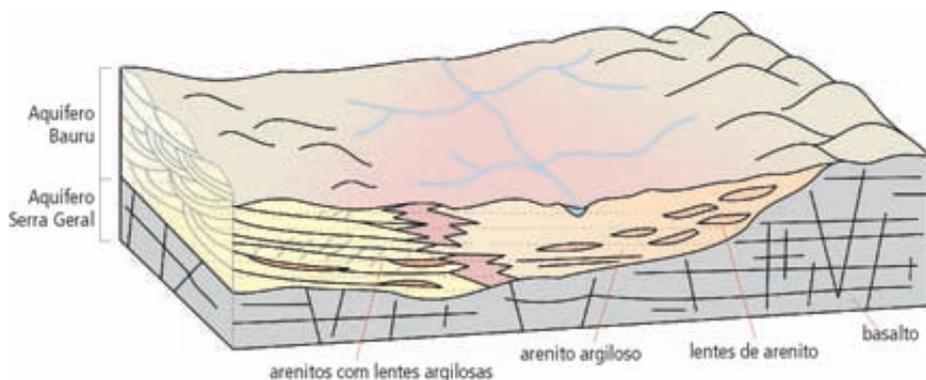
chegar a 40 m³/h em algumas regiões, como São José do Rio Preto e entre Bauru e Tupã (Mancuso & Campos 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

Na porção basal (inferior) predominam arenitos com baixo teor de material fino, imprimindo melhor produtividade aos poços. Estes arenitos ocorrem, principalmente, na região oeste de abrangência do aquífero. As vazões sustentáveis recomendadas para os poços podem chegar a 80 m³/h (Mancuso & Campos 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005) próximo ao Rio Paraná, desde as cidades de Panorama e Presidente Venceslau até o Pontal do Paranapanema.

Este aquífero é considerado de produtividade média a alta e, também, apresenta, em geral, água com boa qualidade para consumo humano, o que explica sua frequente utilização para o abastecimento público. Entretanto, existem poços onde foram detectadas concentrações de cromo e nitrato que ultrapassam padrões de potabilidade de água para consumo humano.

Além disso, por ser um aquífero livre, a recarga se faz em toda a sua extensão, o que aumenta o risco de poluição, a qual pode ser causada pelas atividades desenvolvidas sobre esta unidade hidrogeológica, chamando a atenção para a necessidade de um esforço conjunto do governo e da sociedade no desenvolvimento de programas e implantação de ações destinadas à sua proteção.

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Bauru



Aquífero Taubaté



O Aquífero Taubaté é um aquífero sedimentar de extensão limitada. Localizado entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, no nordeste do Estado de São Paulo, ocupa uma área de apenas 2.340 km², com formato alongado, cujo eixo

estende-se na direção nordeste-sudoeste, ao longo do vale do Rio Paraíba do Sul.

Os sedimentos arenosos a argilosos que compõem este aquífero foram depositados há mais de 2 milhões de anos, diretamente sobre as rochas do Aquífero Cristalino. Uma característica marcante deste aquífero é a intercalação entre as diversas camadas de sedimentos arenosos e argilosos, promovendo uma grande variabilidade litológica em subsuperfície.

As camadas mais arenosas, predominantes na parte basal do aquífero, foram depositadas em ambiente fluvial e ocorrem, predominantemente, nas regiões sudoeste, entre Jacareí e São José dos Campos, e nordeste, entre Guaratinguetá e Lorena. Nestas porções, o aquífero possui boa produtividade, abastecendo cidades como Jacareí, São José dos Campos, Caçapava e Lorena, e as vazões sustentáveis recomendadas chegam até 120 m³/h por poço (Mancuso & Monteiro 2005 in DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

A porção mais argilosa foi formada em ambiente lacustre e ocorre, predominantemente, na porção central do aquífero, entre as cidades de Taubaté a Pindamonhangaba. Nesta região, a produtividade do aquífero é baixa e as vazões recomendadas não ultrapassam 10 m³/h por poço (Mancuso & Monteiro 2005 in DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

A espessura do aquífero é variável, aumentando dos limites externos de sua área de ocorrência para a região central, ao longo do Rio Paraíba

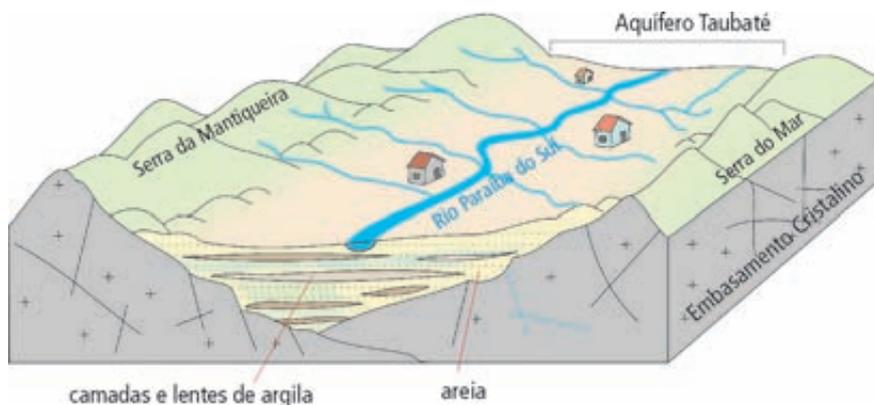
do Sul, onde se observam valores entre 200 e 300 metros, podendo superar 400 metros na região de Taubaté.

Por ser totalmente aflorante e ter comportamento livre, é recarregado pela água da chuva que infiltra diretamente no solo, sendo, também, responsável por fornecer água aos rios da região que atuam como áreas de descarga do aquífero, impedindo que estes sequem na época de estiagem.

A recarga direta em toda a sua área implica em maior vulnerabilidade a cargas poluentes lançadas na superfície do terreno e que possam infiltrar junto com a água da chuva. Parte do aquífero, entretanto, pode ter comportamento que tende a ser confinado devido à predominância de camadas argilosas em superfície, o que promove certa proteção em determinadas regiões.

Este aquífero apresenta, de forma geral, água de boa qualidade para o consumo humano, mas, devido à alta vulnerabilidade à poluição, é necessário, também, um esforço conjunto do governo e da sociedade para promover sua proteção.

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Taubaté



Afloramentos do Aquífero Taubaté



Taubaté (SP) –
Intercalação de arenitos
e folhelhos.
Foto: William Sallun Filho.



Taubaté (SP) – Rocha-
testemunho retirado em
perfuração de poço a
diferentes profundidades.
Foto: Hélio Nóbile Diniz.

Aquífero São Paulo



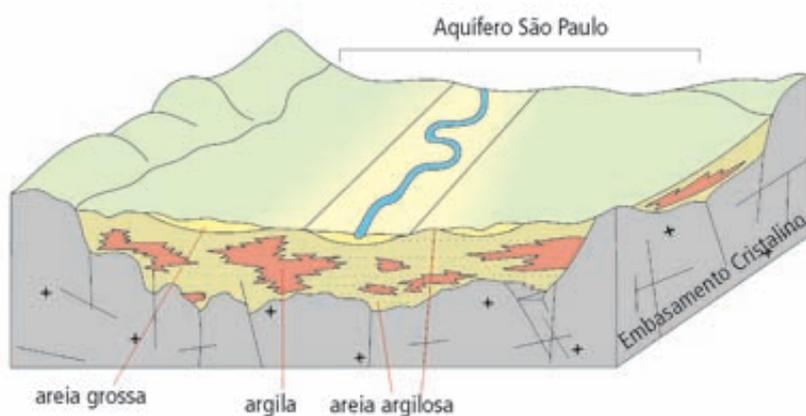
O Aquífero São Paulo é um aquífero sedimentar, de extensão limitada pela Serra do Mar, ao sul, e pela Serra da Cantareira, ao norte.

Ocupa uma área com formato irregular de aproximadamente 1.000 km², no leste do Estado de São Paulo, abrangendo municípios como Osasco, São Paulo, São Bernardo do Campo, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Suzano e Mogi das Cruzes.

Formado há mais de 2 milhões de anos, este aquífero é caracterizado por intercalações de sedimentos, ora mais arenosos, ora mais argilosos, depositados sobre as rochas do Embasamento Cristalino, em ambiente predominantemente fluvial. Incluem-se neste aquífero os sedimentos mais recentes depositados nas planícies do rio Tietê e seus afluentes.

Em algumas áreas restritas do aquífero ocorrem, também, sedimentos argilosos, depositados em ambiente lacustre.

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero São Paulo



Afloramento do Aquífero São Paulo



Itaquaquetuba (SP) – Arenitos. Foto: William Sallun Filho

Assim como o Aquífero Taubaté, uma característica marcante é a grande heterogeneidade litológica, decorrente das inúmeras intercalações entre as camadas arenosas e argilosas.

A espessura deste aquífero é bastante variável, com valor médio de 100 metros, podendo chegar a mais de 250 metros em algumas regiões. As maiores espessuras deste aquífero são encontradas na porção limitada entre a margem esquerda do Rio Tietê e a margem direita do Rio Tamanduateí, bem como na região próxima ao Aeroporto de Cumbica, no município de Guarulhos.

A produtividade deste aquífero pode ser considerada de média a baixa, com vazões sustentáveis recomendadas entre 10 e 40 m³/h por poço nas regiões mais arenosas e com maiores espessuras de sedimento, que se concentram nas regiões sul e leste do Município de São Paulo e no Município de Guarulhos. Nas demais regiões, como aquelas que abrangem os municípios de Mogi das Cruzes, Suzano, São Caetano do Sul, Embu Guaçu e Osasco, as vazões sustentáveis recomendadas são inferiores a 10 m³/h por poço (Campos & Albuquerque Filho 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

O Aquífero São Paulo é livre, característica que facilita sua recarga pela infiltração da água de chuva. Por outro lado, sobre este aquífero assenta-se a maior parte dos municípios da Região Metropolitana de São Paulo, onde há alta concentração populacional e de atividades industriais e comerciais. Isto implica elevado risco de poluição deste aquífero.

A qualidade natural da água do Aquífero São Paulo é considerada, no geral, adequada ao consumo humano e para diversos usos. Há, contudo, ocorrências de poços com problemas de concentrações de fluoretos, ferro e manganês na água, os quais excedem o padrão de potabilidade. Não há, até o momento, estudos suficientes para avaliar se a origem destas substâncias é natural ou decorrente de atividades antrópicas. Sabe-se, entretanto, que a maior parte das áreas contaminadas controladas e divulgadas pela CETESB, órgão de controle ambiental, localiza-se na Região Metropolitana de São Paulo, onde ocorre este aquífero, comprometendo a qualidade da água em locais específicos.

Aquífero Litorâneo



O Aquífero Litorâneo é um aquífero sedimentar, de extensão limitada, que se estende ao longo da costa paulista, desde a região de Cananéia, ao sul, até Caraguatatuba e Ubatuba, ao norte.

Este aquífero abrange uma área de formato irregular,

distribuída em 4.600 km², ocupando uma faixa estreita, com largura variável, de poucos quilômetros, em bolsões isolados no litoral norte, até 70 km nas planícies do rio Ribeira de Iguape. Sua área de ocorrência é, por vezes, segmentada por ocorrências esporádicas do Aquífero Cristalino.

Formado há menos de 2 milhões de anos, este aquífero é composto por sedimentos de planície litorânea, variados e intercalados, que ocorrem como: arenitos, siltitos e conglomerados depositados em ambiente fluvial, existente somente na região de Ribeira de Iguape; areias com camadas de argila depositadas em ambiente marinho; areias e argilas depositadas em ambiente continental; e areias litorâneas, areias e argilas de mangue, pântanos, flúvio-lagunares ou de baías.

As espessuras são muito variáveis, desde poucos metros até mais de 167 m, como em Ilha Comprida, no sul do Estado de São Paulo (DAEE 1979).

Não há muitas informações sobre este aquífero e a maior parte dos poços tubulares está concentrada entre Santos e Iguape.

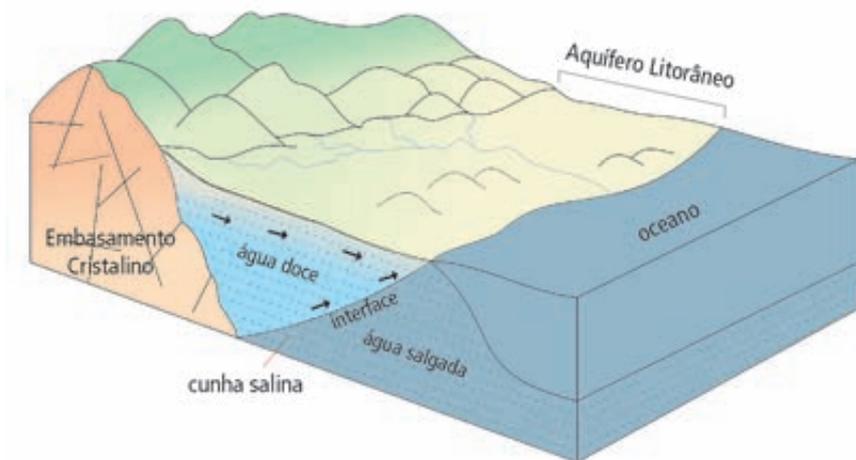
A produtividade deste aquífero é baixa, com vazões sustentáveis recomendadas inferiores a 10 m³/h por poço. Apenas na região entre Peruíbe e São Vicente a vazão sustentável pode chegar a 20 m³/h por poço (Takahashi 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005). Apesar da baixa produtividade, o Aquífero Litorâneo contribui na complementação do abasteci-

mento de cidades como Ubatuba, Caraguatatuba, Bertioga, Santos, São Vicente, Praia Grande, Itanhaém e Iguape.

A direção de fluxo da água subterrânea é, em geral, para os rios de grande porte da região litorânea, como os rios Ribeira de Iguape, Una, Preto e Itapanhaú e, também, para o oceano.

Neste sistema é preciso controlar a exploração, pois o bombeamento excessivo dos poços pode inverter o fluxo da água subterrânea, causando avanço da cunha de água salgada do mar para dentro do aquífero. Este fenômeno é conhecido como intrusão salina e pode afetar diretamente a qualidade da água subterrânea. Na água de alguns poços da região de Santos-Cubatão já é observado um aumento do teor de sal (Takahashi 2005 *in* DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Litorâneo



Área de ocorrência do Aquífero Litorâneo ao longo da costa paulista



Ubatuba (SP).
Foto: Arquivo da Prefeitura Municipal
de Ubatuba.



Ubatuba (SP).
Foto: Arquivo da Prefeitura Municipal
de Ubatuba.

Utilização das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo

A água subterrânea tem papel importante no abastecimento público de várias cidades, principalmente aquelas localizadas no oeste paulista, sobre o Aquífero Bauru e a porção aflorante do Aquífero Guarani.

Como são aquíferos livres, com boa produtividade e qualidade natural de água, a perfuração de poços nestas regiões é técnica e economicamente viável.

Aquíferos livres e mais permeáveis são muito vulneráveis à poluição, pois recebem recarga direta das águas que caem sobre o solo e infiltram em subsuperfície. A existência de atividades, instalações e empreendimentos que, de alguma forma, manipulem ou armazenem substâncias nocivas que possam chegar à água subterrânea podem aumentar o risco de poluição dos aquíferos.

Segundo dados da CETESB, órgão do Estado de São Paulo responsável pelo controle ambiental, em 1997, cerca de 72% dos municípios utilizavam água subterrânea no abastecimento público. Em 2006, esta porcentagem subiu para 80%. A CETESB é responsável também pelo monitoramento da qualidade natural da água subterrânea e, segundo levantamento publicado em 2007, a água dos aquíferos do Estado de São Paulo apresentou, em geral, ótima qualidade.

Cabe esclarecer que o monitoramento realizado pela CETESB é focado na determinação da qualidade natural da água subterrânea e suas alterações ao longo do tempo. A vigilância da potabilidade da água distribuída à população é atribuição da Secretaria da Saúde, a qual avalia, inclusive, o controle de qualidade realizado pelas empresas concessionárias de água.

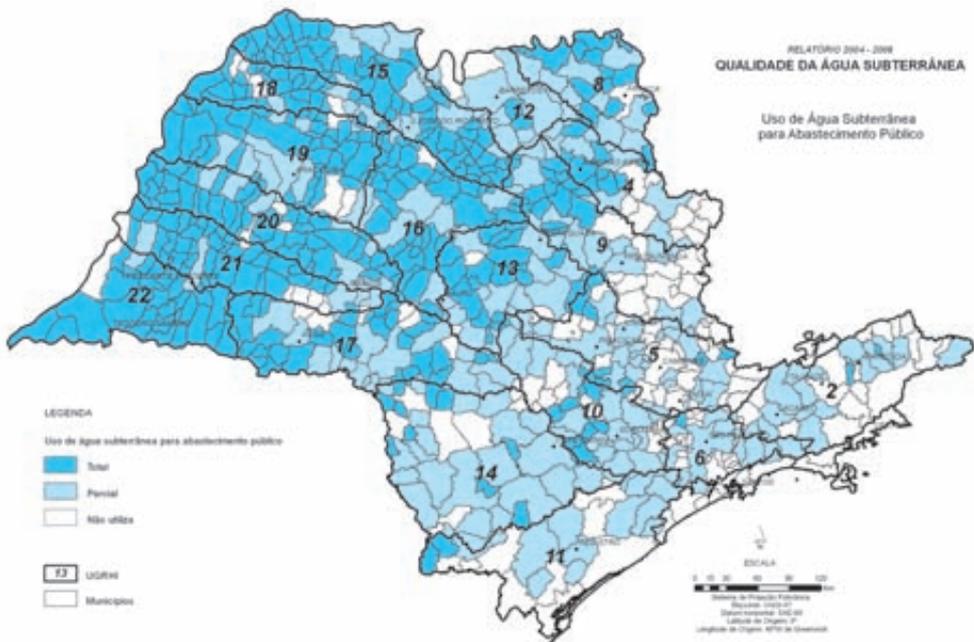
O monitoramento realizado pela CETESB vem detectando o aumento da concentração de algumas substâncias na água de poços, como o nitrato, em alguns locais do Aquífero Bauru. Estas concentrações ainda não

comprometem totalmente o uso da água subterrânea para abastecimento público, mas chamam a atenção para a necessidade de um esforço conjunto dos órgãos gestores e da sociedade em geral para a proteção dos aquíferos do Estado de São Paulo.

Maiores informações sobre o monitoramento da qualidade da água subterrânea no Estado de São Paulo podem ser obtidas na CETESB, no site www.cetesb.sp.gov.br.

Municípios abastecidos por Água Subterrânea no Estado de São Paulo

Fonte: CETESB, 2007.



4. Como captar a água subterrânea

4

4. Como Captar a Água Subterrânea

A captação de água subterrânea é feita, geralmente, em locais não abastecidos por sistema público de água (água encanada) ou para complementar o volume fornecido pela rede, principalmente, quando se necessita de grandes quantidades como, por exemplo, para fins industriais, irrigação em agricultura, hotelaria e condomínios residenciais.

A escolha do tipo de obra para captação de água subterrânea depende do tipo e potencialidade do aquífero, da finalidade de uso e da demanda de água, cujas opções têm reflexos diretos no custo. O poço, raso ou profundo, é a forma mais comumente utilizada para captar água subterrânea.

Poços

O **poço cacimba** ou escavado, popularmente chamado de caipira ou amazonas em algumas localidades, é aquele utilizado para extrair água de aquíferos livres e rasos. Este tipo de poço geralmente tem pouca profundidade e pela baixa produção de água é utilizado predominantemente em pequenas propriedades, na maioria, não atendidas pela rede pública de água.

Esquema de um poço cacimba



Este tipo de poço geralmente tem pouca profundidade e pela baixa produção de água é utilizado predominantemente em pequenas propriedades, na maioria, não atendidas pela rede pública de água.

O poço cacimba apresenta grande diâmetro, frequentemente entre 1 e 1,5 metros, e profundidade, geralmente inferior a 30 metros.

No fundo do poço utilizam-se, em geral, anel pré-moldado de concreto, tijolos furados, manilhões de concreto semiporoso ou pedras encaixadas e cascalho na base para

permitir a entrada de água. A parede do poço, acima da entrada de água, deve ser feita com alvenaria ou concreto e revestida em massa de cimento. A parede deve ser erguida alguns centímetros acima do solo e uma laje de concreto deve ser construída ao seu redor. A impermeabilização da parede do poço até os primeiros metros de profundidade e a laje de proteção evitam infiltração de água suja ou poluída que contaminam a água subterrânea. Além disso, o poço deve permanecer sempre tampado e seu entorno cercado para evitar a circulação de pessoas e animais.

A água deve ser extraída, preferencialmente, por meio de bombas manuais ou elétricas de baixa potência, pois o uso de carretilhas e baldes pode carrear sujeira para dentro do poço.

Antes da construção do poço, é necessário verificar sua distância (acima de 30 metros) e posicionamento em relação a fossas negras e outras fontes de poluição, de modo a evitar a contaminação da água.

O **poço tubular** apresenta pequeno diâmetro, em geral entre 10 e 50 cm, e profundidade e capacidade de produção de água bem maior que o poço cacimba. Quanto maior a profundidade e a produtividade do aquífero, maior deve ser o diâmetro do poço tubular.

Em aquíferos livres, a profundidade dos poços tubulares varia, em geral, entre 100 e 200 metros. Mas, em aquíferos confinados e profundos, os poços podem atingir mais de 500 metros. Em São José do Rio Preto, por exemplo, há poço explorando a porção confinada do Aquífero Guarani, com mais de 1.300 metros de profundidade.

Para a perfuração dos poços tubulares, é necessário equipamento especializado e que seja executado sempre com acompanhamento de um profissional habilitado, como um geólogo ou um engenheiro ligado a esta área. O furo é normalmente revestido com tubos de aço, ferro ou PVC, denominado de revestimento e serve para impedir o desmoronamento das paredes nas porções de solo e de rochas sedimentares menos consolidadas. Em aquíferos sedimentares, nas porções mais produtivas, como cama-

das mais arenosas, o tubo de revestimento possui aberturas para permitir a entrada de água para dentro do poço e é denominado de filtro.

No espaço formado entre a parede do furo e o revestimento, coloca-se areia grossa, que funciona como um pré-filtro, impedindo a entrada de material argiloso quando se bombeia água do poço.

Nas porções mais próximas à superfície, este espaço entre o furo e o revestimento deve ser selado com material impermeável, como argila do tipo bentonita ou cimento. A isto chamamos de cimentação do poço.

Ainda, para promover a proteção sanitária do poço, na superfície do terreno e ao redor do tubo de revestimento deve ser construída uma laje de concreto. A laje de proteção e a cimentação compõem o que chamamos de selo sanitário, cuja finalidade é impedir a infiltração de água da superfície para dentro do poço. Além disso, a boca do poço deve ser mantida fechada por tampa e a área ao seu redor deve ser cercada para evitar a circulação de pessoas e animais.

Esta proteção sanitária deve ser construída em qualquer tipo de poço, tanto os que exploram aquíferos sedimentares como fraturados.

Em poços construídos em aquíferos fraturados, onde a rocha é consolidada, não há necessidade de colocação de revestimento em toda a extensão do furo, exceto na parte superior do poço, geralmente constituída por material menos consistente como, por exemplo, rocha alterada e solo.

Existem equipamentos específicos para captação de água em poços tubulares, como por exemplo, bomba submersa, que como o nome indica, é instalada abaixo do nível d'água.

A profundidade, diâmetro, materiais construtivos e tipo de bomba de um poço tubular devem ser definidos em projeto elaborado por profissional especializado, que adequará a obra às características do aquífero a ser explorado.

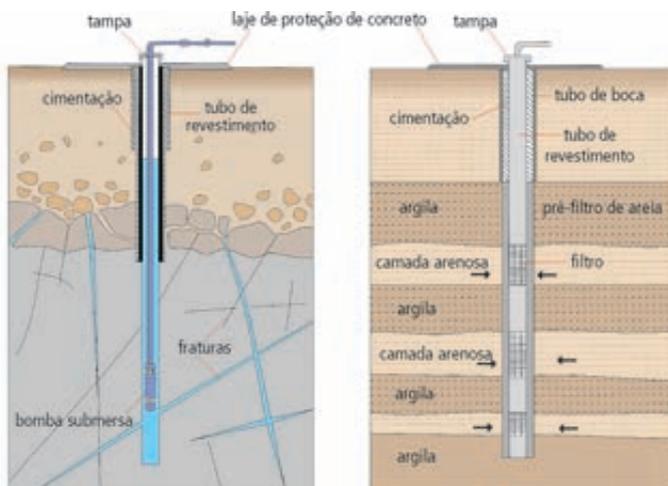
Informações completas sobre os aspectos construtivos de um poço podem ser obtidas no Manual de Operação e Manutenção de Poços (Rocha

& Jorba 2007) do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 12.212 - Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea e NBR 12.244 - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea).

Para a utilização da água subterrânea no Estado de São Paulo, é necessária autorização do órgão responsável pela outorga de uso dos recursos hídricos¹ e, quando for utilizada para consumo humano, o poço deve estar cadastrado nos órgãos municipais de Vigilância Sanitária e apresentar plano de amostragem da qualidade da água conforme Portaria nº 2.914, de 12/12/2011 do Ministério da Saúde. As informações sobre o cadastro e a licença de execução de poço e outorga de uso da água podem ser obtidas nos sites www.dae.sp.gov.br e www.cvs.saude.sp.gov.br.

Em alguns municípios paulistas, em função do controle de uso e ocupação do solo, é necessária a autorização de órgãos municipais, além da

Poços Tubulares Profundos construídos em aquíferos fraturado e sedimentar



¹ O gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo é um processo dinâmico e em constante evolução. Assim, consulte sempre os órgãos gestores para obtenção de informações atualizadas antes de iniciar qualquer obra de captação de água subterrânea

Vigilância Sanitária. Assim, antes de construir seu poço, procure informações nos setores pertinentes da Prefeitura.

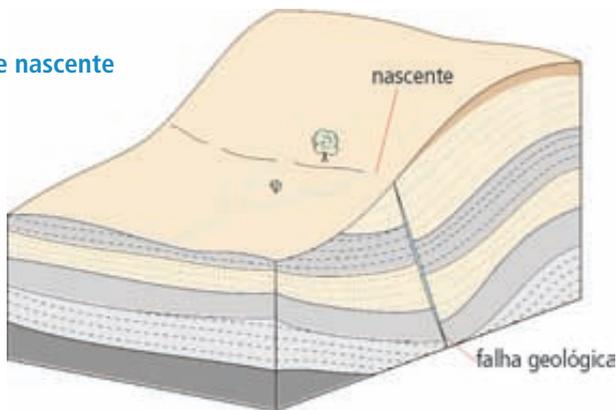
Nascentes

Chamamos de fonte natural ou **nascente** quando a água aflora (brota) espontaneamente no terreno. Ela ocorre em determinadas condições topográficas e geológicas e caracteriza uma área de descarga dos aquíferos.

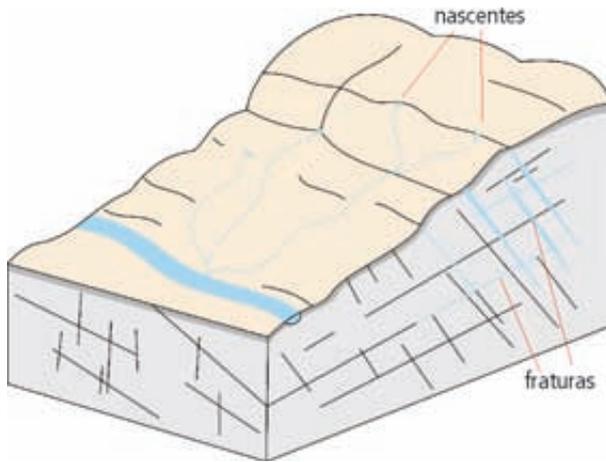
Uma nascente pode ocorrer quando a topografia apresenta feições que favorecem a intersecção do lençol freático com a superfície do terreno, como mudanças na declividade do terreno, chamadas de “quebras de relevo” ou depressões. Quando há flutuação do lençol freático devido à variação da recarga do aquífero, a nascente pode secar nos períodos sem chuva, passando a ser intermitente.

Há, também, ocorrência de nascentes, quando o contato entre duas camadas geológicas de diferentes permeabilidades intercepta a superfície do terreno. Este cenário é comum em aquíferos sedimentares, onde uma camada mais permeável (por exemplo, arenito ou calcário) se encontra sobre outra menos permeável (folhelho, argila etc.).

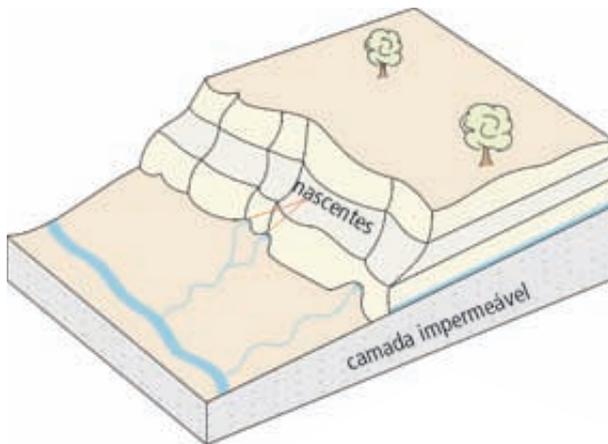
Alguns tipos de nascente



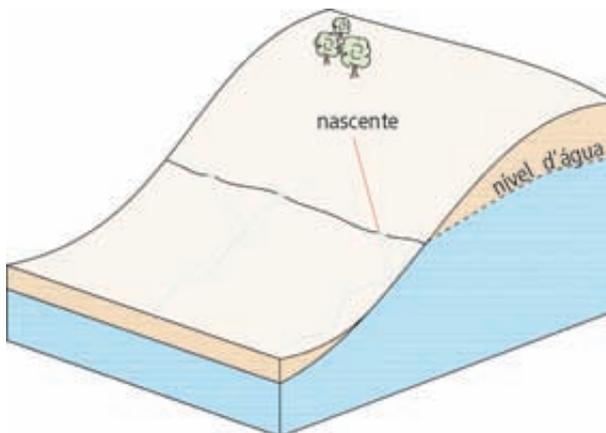
Associada a falhas



Associada a fraturas



Camada permeável sobre impermeável



Quebra de relevo

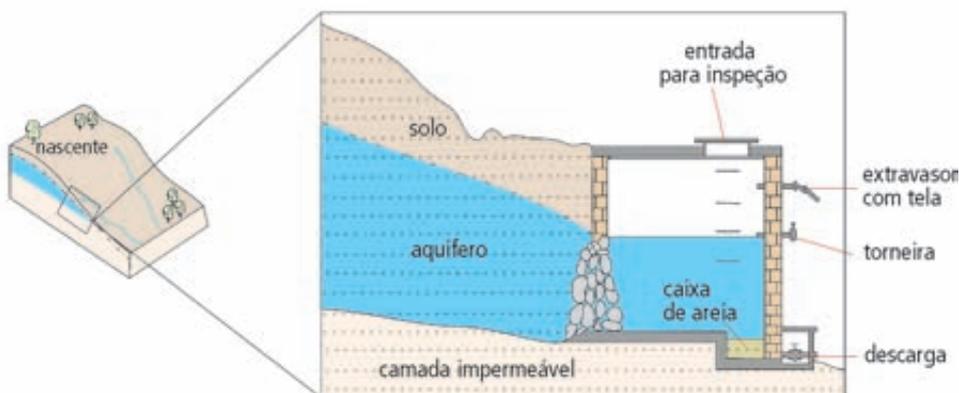
Nos aquíferos fraturados, as nascentes ocorrem onde as falhas, fraturas ou juntas, que controlam o fluxo da água subterrânea, interceptam a superfície do terreno.

Uma vez que as águas das nascentes são, também, muito utilizadas no abastecimento, é necessário estabelecer medidas que visem garantir a proteção sanitária dos locais destinados às captações.

Assim como no poço cacimba, a nascente deve estar protegida da influência de fontes potenciais de contaminação, como: estábulos, granjas, fossas, depósitos de lixo etc. Medidas de proteção contra erosão do solo e assoreamento dos corpos d'água também devem ser tomadas para evitar o desaparecimento das nascentes, como por exemplo, a recomposição da mata ciliar. Para proteger as nascentes de enxurradas causadas pelas chuvas, podem ser construídas valetas ao redor do manancial, evitando, assim, possíveis contaminações. Também é recomendável a construção de uma caixa de alvenaria, com tampa e acessível à limpeza, para garantir a proteção da captação de água da nascente.

Captação de água de nascente

(adaptado de CETESB [sem data] – Água para consumo humano).



5. Ameaça às águas subterrâneas



5. Ameaças às Águas Subterrâneas

Dentre as principais ameaças às águas subterrâneas destacam-se a exploração intensiva ou descontrolada de água e as fontes potenciais de poluição provenientes das atividades antrópicas. É também comum, a falta de cuidados na proteção dos poços, gerando riscos de contaminação das águas.

Diminuição da Reserva de Água

Ao bombeamos a água de um poço tubular, o nível da água subterrânea ajusta-se a este bombeamento formando o que chamamos de cone de rebaixamento.

Quando a taxa de bombeamento é menor ou igual à taxa de recarga do aquífero, o cone de rebaixamento se estabiliza com o tempo.

Quando a extração de água subterrânea ocorre de forma descontrolada ou abusiva, em local de elevada concentração de poços, excede-se a capacidade de recarga natural de um aquífero, conduzindo à queda contínua dos níveis de água subterrânea e à redução da reserva hídrica. Como consequência, as águas passam a ser encontradas em profundidades cada vez maiores, sendo necessário maior consumo de energia para bombear a água, acarretando queda de rendimento do poço tubular.

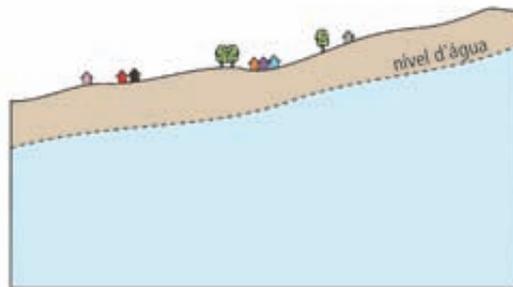
Nestes locais, devido ao bombeamento conjunto dos poços, o rebaixamento do nível d'água de um poço interfere e soma-se ao dos seus vizinhos, intensificando, ainda mais, esta queda de nível. Mesmo em épocas sem chuva, os aquíferos livres fornecem água para os rios ou abastecem as nascentes. Com o rebaixamento acentuado do nível da água dos aquíferos, o fornecimento de água para os mananciais superficiais pode ser afetado, com redução do suprimento de água que mantém os rios e nascentes.

Para minimizar a interferência entre poços tubulares, podem ser estabelecidas taxas menores de vazão e/ou tempo de bombeamento, bem

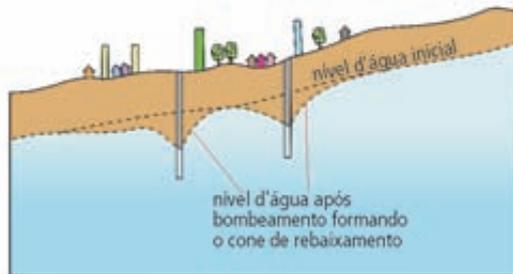
como implantar rodízio no funcionamento dos poços. Medidas mais rigorosas podem ser necessárias visando preservar suas reservas, como acontece no Município de Ribeirão Preto, devido à intensa extração de água do Aquífero Guarani. Neste município, a perfuração de poços foi restringida na parte central da cidade, por meio de um instrumento legal, devido ao rebaixamento excessivo do nível da água subterrânea, causado pelo bombeamento dos poços concentrados nesta área. Isto demonstra a importân-

Interferência dos cones de rebaixamento e evolução da profundidade do nível da água em função do bombeamento contínuo e simultâneo de muitos poços

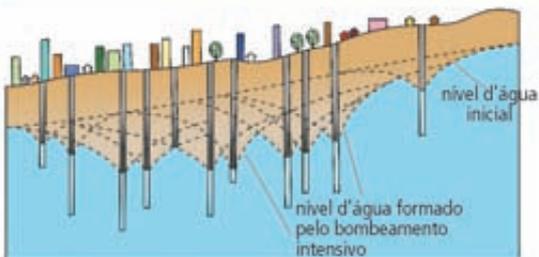
Sem bombeamento



Com bombeamento controlado



Bombeamento intensivo

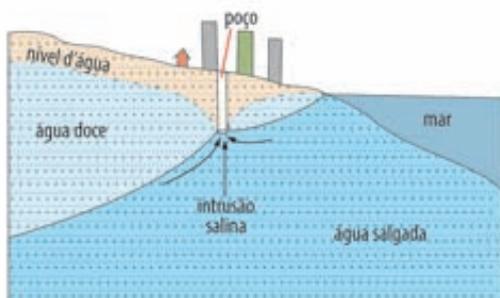
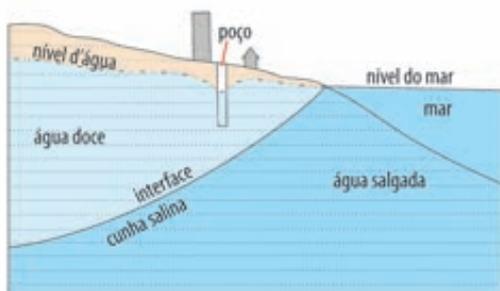


cia de informar o órgão gestor de recursos hídricos sobre a existência de poços tubulares.

O órgão estadual responsável pela gestão dos recursos hídricos, ao analisar pedido de outorga de uso da água, determina a taxa sustentável de bombeamento para cada poço tubular, a fim de evitar problemas de exploração intensiva.

Em aquíferos litorâneos, a água subterrânea flui naturalmente no sentido do mar, local de descarga do aquífero. A água do mar, por ser salina, apresenta maior densidade e tende a ficar abaixo da água subterrânea, formando uma interface em equilíbrio denominada de cunha salina. Quando se explora água subterrânea de forma intensiva, esta condição de equilíbrio é perturbada pelo bombeamento excessivo, provocando a intrusão salina no aquífero e comprometendo a reserva de água doce subterrânea.

Intrusão salina e efeitos do bombeamento de poços em áreas costeiras



Fontes de Poluição

Entende-se por poluição do meio, a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade ou com características em desacordo com padrões ambientais estabelecidos, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo: impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem-estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Lei Estadual nº 997, de 31/05/76).

A poluição dos recursos hídricos subterrâneos ocorre, portanto, quando agentes contaminantes atingem o solo e nele percolam através da zona não saturada até atingir os aquíferos, ou quando são lançados diretamente nos aquíferos, por meio de poços.

Uma das preocupações são os poços desativados, uma vez que muitos são esquecidos ou abandonados sem o devido tamponamento (fechamento adequado do poço), constituindo vias de entrada de contaminantes no aquífero. Eventos, como enxurrada e alagamento, podem carrear todo tipo de substância e material que encontrarem no caminho, rumo aos poços destampados. Como estabelecido em lei, a desativação de poços tubulares deve ser informada ao órgão responsável pela outorga de uso da água.



Poço com trinca na laje de proteção e tampa mal colocada.

Poço abandonado e não tamponado, sem laje e tampa.

Poço abandonado e não tamponado, com laje e tampa quebradas. Fotos: Arquivo do IG/SMA

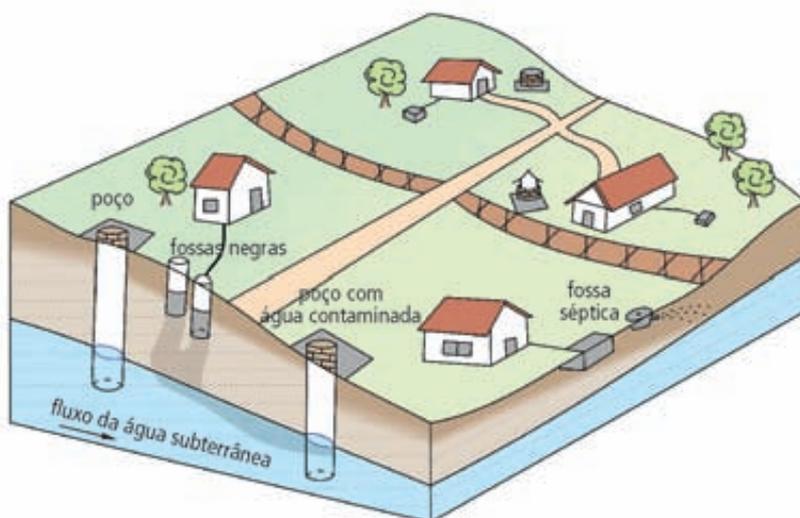
Poços desprovidos de selo sanitário ou mal construídos também favorecem a infiltração de águas da superfície para os aquíferos.

A infiltração de contaminantes no solo pode ter inúmeras causas e formas de ocorrência, sejam acidentais, intencionais ou por negligência e desconhecimento (vazamentos de substâncias, explosões, descartes/despejos de resíduos etc.). As fontes de poluição podem ser pontuais (por exemplo: vazamento de tanques, disposição de resíduos no solo etc.), poluindo um local restrito de forma concentrada; ou difusas (aplicação de fertilizantes e pesticidas, vazamentos da rede coletora de esgoto etc.), com extensa distribuição em área.

As fontes de poluição podem ser classificadas por tipo de atividade em: urbana, rural e de mineração.

Entre os problemas urbanos, os mais comuns são a contaminação por efluentes advindos de fossas negras ou fossas sépticas mal construídas, lixões e aterros (sem impermeabilização de base), vazamento na estação de tratamento de efluentes, por meio de infiltrações no subsolo, vazamentos de tubulações e tanques subterrâneos, como redes coletoras de esgoto e tanques de combustível.

Localização de fossas em relação a poços



O lançamento de esgoto (domiciliar e industrial) em corpos d'água, também pode afetar a água subterrânea, uma vez que os rios podem atuar, inversamente, como áreas de recarga dos aquíferos livres.

Os efluentes domésticos descartados nas fossas negras ou que vazam das redes coletoras são, principalmente, água de lavagem com substâncias de produtos de limpeza e dejetos humanos. Dentre os principais contaminantes que infiltram no solo, destacam-se os microorganismos patogênicos, que causam problemas como diarreia e outras doenças, e o nitrato, composto a base de nitrogênio. A ingestão frequente de água contendo nitrato em elevada concentração pode ocasionar uma doença chamada metemoglobinemia, conhecida como "síndrome do bebê azul", que afeta a capacidade de transporte do oxigênio no sangue dos bebês.

A decomposição do lixo depositado em lixões e aterros gera um líquido denominado chorume, que apresenta alta concentração de substâncias nocivas, sejam elas orgânicas, inorgânicas ou patogênicas. Quando o aterro não possui impermeabilização na base e sistema de coleta e tratamento do chorume, este infiltra no solo e contamina o aquífero. É importante que os resíduos gerados nas cidades sejam depositados em aterros sanitários bem construídos e que a população não jogue lixo em terrenos vazios, evitando a formação de lixões.

Outro tipo de poluição urbana muito frequente está relacionado a vazamento de tanques de estocagem subterrânea, principalmente de combustível. No Estado de São Paulo, cerca de 73% das áreas contaminadas são atribuídas a postos de combustível (CETESB 2006) e os principais contaminantes que atingem o solo e as águas subterrâneas são substâncias constituintes da gasolina e do óleo diesel (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, entre outros) que, em determinadas concentrações, podem ser tóxicas ao ser humano, causando doenças, inclusive câncer.

A poluição de origem industrial está relacionada a acidentes ou problemas de armazenamento e manuseio inadequado de inúmeros tipos de matérias-primas e produtos, lançamentos irregulares ou despejo de efluentes, disposição inadequada de resíduos sólidos e vazamento de lagoas de efluentes, que podem ser carreados para a água subterrânea. A composição dos efluentes e resíduos sólidos é complexa e variável em função do tipo de processo industrial. A grande preocupação está relacionada às substâncias perigosas que podem contaminar a água subterrânea, como solventes, metais pesados etc.

As atividades industriais, que possuem potencial para contaminar a água subterrânea, necessitam de autorizações específicas para a sua instalação e funcionamento no Estado de São Paulo. Para a obtenção de mais informações, acesse os sites da Secretaria do Meio Ambiente (www.ambiente.sp.gov.br) e da CETESB (www.cetesb.sp.gov.br).

Na atividade rural, as principais fontes potenciais de poluição estão relacionadas ao armazenamento e à aplicação de fertilizantes e pesticidas (inseticidas, fungicidas e acaricidas) de forma e em quantidade inadequadas. O descarte incorreto de embalagens vazias de produtos tóxicos também é uma ameaça à água subterrânea.

Exemplos de fontes potenciais de poluição



Após a aplicação desses produtos na lavoura, o excedente é levado pela água da chuva ou da irrigação e infiltra no solo, carreando as substâncias tóxicas para a água subterrânea, como por exemplo, o nitrato.

Alguns pesticidas (organofosfatados e carbamatos) se degradam rapidamente e não persistem no ambiente, mas podem ser altamente tóxicos em baixas concentrações. Outros, além de serem tóxicos, demoram muito tempo para degradar, como é o caso dos hidrocarbonetos clorados (DDT, aldrin, dieldrin, chlordane, heptachlor, endrin etc.); conseqüentemente, tiveram seu uso proibido.

A pecuária intensiva também pode ser uma fonte potencial de poluição, quando os dejetos de animais são armazenados em tanques ou lagoas desprovidas de impermeabilização. Este efluente pode infiltrar pela base do tanque ou da lagoa e atingir o lençol freático, elevando, por exemplo, as concentrações de nitrogênio na água.

Problemas relacionados à mineração ocorrem quando há disposição inadequada de resíduos (rejeitos da atividade mineradora), situação que favorece a exposição dos materiais às intempéries, seu carreamento a corpos d'água e infiltração no subsolo. Alguns minerais, como os sulfetos, presentes em minerais como a pirita, calcopirita e marcassita, oxidam-se quando expostos ao ar e à água, produzindo ácidos que alteram as características naturais do meio e acarretam o aumento de metais tóxicos dissolvidos na água. Além disso, a má utilização das cavas, após o término da mineração, também propicia risco de poluição para a água subterrânea, pois acabam sendo utilizadas inadequadamente como lixo.

6. Água e Saúde

6

6. Água e Saúde

Água: saúde ou doença ?

A água é um elemento essencial à vida e constitui um dos principais fatores que determinam as condições de saúde da população.

Nos diferentes meios por onde passa, a água agrega e incorpora substâncias, naturais ou originárias de atividade antrópica. Consequentemente, dependendo das circunstâncias em que é consumida, a água pode favorecer a saúde (higiene pessoal, alimentação etc.), promovendo qualidade de vida ou pode atuar como agente causador ou veículo de transmissão de doenças.

A água subterrânea está contaminada quando apresenta microorganismos patogênicos e substâncias químicas em concentrações que afetam a saúde humana.

No caso da contaminação de origem biológica, a forma mais clássica de contato humano com os microorganismos patogênicos é pela ingestão de água, que atua como veículo de agentes causadores de doenças, como diarreia, disenteria, cólera, febre tifóide e hepatite. Os motivos deste tipo de contaminação em poços e nascentes podem ser decorrentes da proximidade do manancial a fossas desativadas ou ativas, chiqueiros, de vazamentos da rede coletora de esgoto, de depósitos de lixo etc.

O histórico de vigilância da qualidade da água mostra frequente contaminação de poços cacimba, especialmente por esgotos, indicando que este tipo de captação é bastante vulnerável, pois a água é extraída de níveis mais rasos do aquífero. Este fato chama a atenção para a necessidade de cuidados constantes no tocante à proteção sanitária dos poços e, também, das nascentes.

No caso da contaminação da água por agentes químicos, os efeitos à saúde dependem do tipo e da concentração do contaminante, da forma



pela qual esta substância atinge o homem e da vulnerabilidade do receptor humano, como, por exemplo, a idade. É enorme a quantidade de substâncias presentes na natureza ou produzidas artificialmente que apresentam características tóxicas ao homem. A rápida evolução da indústria química expôs o homem a centenas de milhares de substâncias, cujas características toxicológicas da maior parte delas ainda se desconhece. Muitos são os prejuízos que as substâncias químicas presentes na água podem causar à saúde humana, tais como transtornos neurológicos, reprodutivos e imunológicos, insuficiência renal e hepática, doenças pulmonares e respiratórias, cânceres, entre outros. Tais agravantes estão relacionados não apenas à toxicidade do produto, mas também à forma como ocorre o contato com o homem e às características desses receptores.

Mais recentemente, há evidências, também, de contaminação da água extraída de poços tubulares profundos, utilizados cada vez mais como alternativa econômica aos sistemas públicos de abastecimento dos grandes centros urbanos. Tais contaminações são consequência de atividades urbanas, frequentemente ocorridas no passado sem um adequado planejamento e controle ambiental.

Estes fatos demonstram a relação da água com a saúde humana e a importância da proteção da água subterrânea, como forma de garantir que esta água seja um fator efetivo de qualidade de vida e não um transmissor de doenças.

A Potabilidade das Águas

Esta estreita relação entre água e saúde evidencia a necessidade do poder público em estabelecer padrões e regulamentar as condições da utilização da água em função da qualidade e regras de consumo.

É necessário, portanto, utilizar referências seguras de concentração de substâncias prejudiciais à saúde na água para consumo humano. Estas

referências são denominadas de padrões de potabilidade e são estabelecidas pelo Ministério da Saúde (Portaria nº 518, de 25/03/2004). Os padrões desta Portaria referem-se às concentrações das substâncias consideradas aceitáveis na água e seguras à saúde humana e são definidas a partir de evidências toxicológicas, que estimam as doses abaixo das quais as pessoas podem estar expostas sem prejuízos à saúde.

As águas dos aquíferos do Estado de São Paulo têm, de forma geral, boa qualidade, atendendo aos padrões de potabilidade e estando adequadas ao consumo humano. As ocorrências de contaminação por substâncias de origem natural ou antrópica são, ainda, localizadas e devem ser controladas para não comprometer as reservas subterrâneas dos aquíferos.

No Brasil, a vigilância da qualidade da água é feita por meio de ações programáticas desenvolvidas no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS). No Estado de São Paulo, tais ações estão organizadas no Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Proágua) e coordenadas pelo Centro de Vigilância Sanitária (www.cvs.saude.sp.gov.br).

7. Protegendo os recursos hídricos subterrâneos



7. Protegendo os Recursos Hídricos Subterrâneos

Cuide de seu Poço

A proteção das águas subterrâneas está intimamente relacionada à eliminação dos riscos à saúde humana e dos impactos negativos ao meio ambiente. Isto inclui os cuidados para proteger as captações de água subterrânea, como poços e nascentes.

Antes de construir uma captação de água subterrânea, é necessário conhecer e obedecer a legislação vigente, no que se refere à proteção e uso dos recursos hídricos. Mais adiante, é apresentada uma relação das legislações referentes ao uso e proteção das águas subterrâneas.

A primeira medida é certificar se o local onde se pretende instalar o poço não está inserido em uma área de restrição e controle à captação e ao uso da água e que nas proximidades não há áreas contaminadas e fontes com potencial de contaminação do solo e das águas subterrâneas, atendendo a Resolução Conjunta SMA/SERH/SES nº 3, de 21/06/2006.

É obrigatório, também, solicitar ao órgão responsável, uma licença para a perfuração de um poço tubular², conforme a Portaria DAEE nº 717, de 12/12/1996.

Após a construção da captação, uma das principais medidas para a sua proteção consiste na conservação e manutenção das nascentes e dos poços, escavados ou tubulares, em caráter preventivo.

Existem normas técnicas orientativas para a adequada construção dos poços tubulares, bem como manuais para a correta operação e manutenção, como já mencionado anteriormente.

² O gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo é um processo dinâmico e em constante evolução. Assim, consulte sempre os órgãos gestores para obtenção de informações atualizadas antes de iniciar qualquer obra de captação de água subterrânea.

É obrigação do proprietário manter e operar corretamente os poços. O não cumprimento sujeita-o a penalidades definidas em lei.

Um item fundamental, em todas as captações de água subterrânea, como já explicado anteriormente, é a proteção sanitária, que consiste na cimentação do espaço entre a tubulação e o furo, construção de laje de concreto ao redor do poço e colocação de uma tampa. Além disso, os poços devem ser protegidos por cerca para evitar a circulação de animais.

Em poços escavados ou cacimbas, é recomendável realizar a limpeza e desinfecção do poço, pelo menos uma vez ao ano.

No caso de desativação do poço, este deve ser devidamente tamponado (cimentado) e lacrado, para que não se torne um meio de acesso direto de agentes contaminantes à água, evitando, também, acidentes. Para poços tubulares, as normas técnicas fornecem orientações para o tamponamento, cuja execução deve ser notificada ao órgão responsável pela outorga de uso da água.

Proteja o Aquífero

A proteção dos aquíferos engloba a preservação das reservas e da qualidade de suas águas.



Ribeirão Preto (SP) – Poço tubular corretamente construído e protegido. Foto: Arquivo IG/SMA.



Salto (SP) – Poço cacimba bem construído e protegido. Foto: Sibebe Ezaki.

Esta proteção pode se dar mediante o estabelecimento de áreas de proteção dos aquíferos (por exemplo, em áreas de recarga) ou do controle do uso da água e do solo, evitando impactos causados por atividades antrópicas.

Para tanto, os órgãos gestores dos recursos hídricos mantêm um controle do número de poços perfurados no Estado de São Paulo e o monitoramento da quantidade e da qualidade natural da água subterrânea. E, no caso daqueles utilizados para consumo humano, devem estar cadastrados junto ao Centro de Vigilância Sanitária. A construção de poços tubulares clandestinos é prática predatória e uma ameaça à proteção do aquífero e à saúde pública.

As reservas de água subterrânea estão relacionadas aos processos de recarga do aquífero. A impermeabilização do solo e o desmatamento são fatores que contribuem para a diminuição da infiltração da água de chuva no subsolo. Promover a recuperação de matas e diminuir a impermeabilização do terreno constituem medidas que ajudam à proteção das reservas subterrâneas de água.

A preservação da qualidade da água subterrânea depende de ações que minimizem a probabilidade de substâncias tóxicas alcançarem os aquíferos, como, por exemplo, construir e manter adequadamente os poços, evitar a geração e disposição inadequada de resíduos, entre outras medidas.

Em algumas regiões, estão sendo estabelecidas áreas de restrição e controle de atividades antrópicas ou de perfuração de poços, visando a recuperação dos aquíferos e proteção das captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público. Respeitar estas restrições é uma ação fundamental para a proteção dos aquíferos do Estado de São Paulo.

A Visão Coletiva da Proteção e as Responsabilidades

A água é um bem comum, imprescindível à vida, que devemos proteger e preservar para as gerações futuras. É necessário um esforço coletivo para

garantir o bom aproveitamento e o uso adequado deste precioso recurso. Reconhecer o real valor de um copo de água dentre os milhares de litros que abastecem uma cidade e que contribuem para o seu desenvolvimento é um bom começo para isso. Saber consumir a água implica em: usá-la de forma sustentável, explorar água dos poços sem esgotar o aquífero e respeitar os limites da natureza e seu funcionamento.

Avanços da sociedade na proteção dos recursos hídricos dependem de uma ampla gama de iniciativas, desde a conscientização sobre a importância da água em nosso dia a dia, até a realização de pesquisas sobre o potencial dos aquíferos, ou mesmo formas de produção limpa e reúso da água.

Proteger os aquíferos demanda instrumentos legais e normativos bem fundamentados para orientar a sociedade, quanto aos seus deveres e direitos no que se refere ao uso e à proteção dos aquíferos.

A Constituição Federal é clara ao estabelecer que a responsabilidade da proteção dos recursos hídricos é de todos os cidadãos, seja compreendendo seu papel como usuário de água, ou atuando mais ativamente como representante em núcleos, associações, organizações etc. É fundamental uma atitude proativa de cada cidadão em cumprir seu dever para garantir o direito à água de boa qualidade a todos.

O Estado também tem suas responsabilidades na proteção e gestão dos recursos hídricos, repartindo as atribuições entre diversos órgãos, a saber³:

1) SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – órgão responsável pela proteção do meio ambiente (www.ambiente.sp.gov.br). Estão vinculadas a esta Secretaria, as seguintes instituições:

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – órgão gestor da qualidade dos recursos hídricos, responsável pela fiscalização e controle ambiental. Possui programas de monitoramento de

³ O gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo é um processo dinâmico e em constante evolução. Assim, consulte sempre os órgãos gestores para obtenção de informações atualizadas.

qualidade da água subterrânea bruta e de controle das fontes potenciais de poluição e áreas contaminadas (www.cetesb.sp.gov.br)

IG – Instituto Geológico – órgão de pesquisa ambiental na área das geociências. Desenvolve pesquisas sobre águas subterrâneas (www.igeologico.sp.gov.br)

2) SSRH – Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos – órgão gestor dos recursos hídricos e das questões relacionadas a saneamento (www.saneamento.sp.gov.br). Estão vinculadas a esta Secretaria, as seguintes instituições:

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica – órgão gestor da quantidade dos recursos hídricos, responsável pelo controle, fiscalização e outorga de uso da água. Possui um cadastro de usuários de água subterrânea (www.dae.sp.gov.br)

CRHi – Coordenadoria de Recursos Hídricos – órgão responsável pela organização e funcionamento do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

3) SES – Secretaria da Saúde – órgão gestor nas questões de saúde pública. Está vinculada a esta Secretaria, a seguinte instituição:

CVS – Centro de Vigilância Sanitária – órgão central do Sistema Estadual de Vigilância Sanitária, responsável pela gestão de riscos à saúde, inclusive daqueles associados ao consumo humano de água subterrânea (www.cvs.saude.sp.gov.br)

Os principais instrumentos legais relacionados às águas subterrâneas são⁴:

- **Lei Federal nº 9.433**, de 8/01/97, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

⁴ O gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo é um processo dinâmico, em constante evolução. Assim, consulte sempre os órgãos gestores para informações atualizadas sobre os instrumentos legais relacionados às águas subterrâneas

- **Constituição Estadual**, de 05/10/89, Artigos 205 a 213, dispõem sobre os princípios do gerenciamento integrado e proteção dos recursos hídricos;
- **Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914**, de 12/12/2011, aprova a norma de qualidade da água para consumo humano;
- **Decreto-lei nº 52.490**, de 14/07/70, dispõe sobre a proteção dos recursos hídricos no Estado de São Paulo contra agentes poluidores;
- **Lei Estadual nº 997**, de 31/05/76 e **Decreto Estadual nº 8.468**, de 08/09/76, dispõem sobre a instituição do sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente;
- **Lei Estadual nº 6.134**, de 02/06/88; e **Decreto Estadual nº 32.955**, de 07/02/91, que dispõem sobre a preservação das águas subterrâneas do Estado de São Paulo;
- **Lei Estadual nº 7.663**, de 30/12/91 e **Decreto Estadual nº 41.258**, de 31/10/96, que dispõem sobre as normas de orientação à Política Estadual dos Recursos Hídricos e ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- **Portaria DAEE nº 717**, de 12/12/96, aprova normas que disciplinam o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo;
- **Portaria DAEE nº 1**, de 02/01/98, aprova norma e anexos que disciplinam a fiscalização, as infrações e penalidades previstas na Lei Estadual nº 7.663, de 30/12/91;
- **Portaria DAEE nº 2.292**, de 14/12/06, aprova norma que disciplina os usos que independem de outorga de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Estado de São Paulo;
- **Resolução Conjunta SMA/SERHS nº 1**, de 23/02/05, regula o procedimento para o licenciamento ambiental integrado às outorgas de recursos hídricos;
- **Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES n.º 3**, de 21/06/06, dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções

alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos;

- **Resolução CRH nº 52, de 15/04/05**, institui as diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas;
- **Resolução SS nº 65, de 12/04/05**, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no Estado de São Paulo.

8. Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo



8. Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo

A Constituição do Estado de São Paulo, promulgada em 05/10/89, garante que o gerenciamento de recursos hídricos deve ser descentralizado e participativo, congregando órgãos estaduais, municipais e a sociedade civil.

Para viabilizar o que a Constituição instituiu, foi aprovada em 30/12/91, a Lei Estadual nº 7.663, que estabeleceu as normas da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A Política Estadual de Recursos Hídricos estabelece que o gerenciamento dos recursos hídricos deve ser:

- descentralizado, tendo a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial para o planejamento e o gerenciamento;
- participativo, congregando órgãos estaduais, municipais e a sociedade civil;
- integrado, envolvendo águas superficial e subterrânea e a relação quantidade-qualidade.

Princípios básicos da Política Estadual de Recursos Hídricos

Fonte: SIGRH 2000.



A implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos é baseada em três mecanismos:

- **Plano Estadual de Recursos Hídricos** (PERH): define as diretrizes e os critérios gerais para o gerenciamento dos recursos hídricos;
- **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos** (SIGRH): visa a execução da Política Estadual de Recursos Hídricos, a formulação, atualização e aplicação do PERH e a garantia da participação dos setores estaduais, municipais e da sociedade civil;
- **Fundo Estadual de Recursos Hídricos** (FEHIDRO): fundo financeiro que dá suporte e permite a implantação das ações definidas na Política Estadual de Recursos Hídricos, executadas conforme estabelecido no PERH.

Instrumentos de implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos

Baseado em SIGRH 2000.

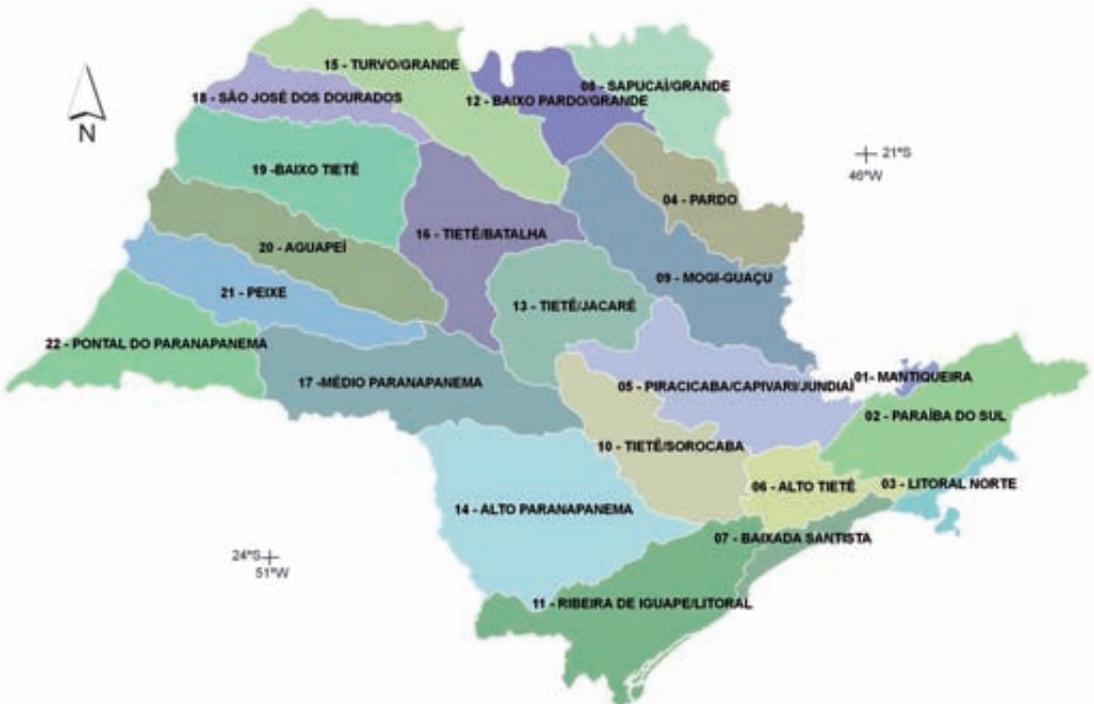


Em atendimento ao Plano Estadual de Recursos Hídricos e ao princípio de gerenciamento descentralizado e participativo, foram definidas 22 unidades hidrográficas, denominadas de Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), tomando por base os limites das principais bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Embora cada UGRHI abranja vários municípios, seus limites não coincidem, necessariamente, com as divisas municipais.

Em cada uma das UGRHI foi instalado um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) para cuidar do gerenciamento de sua região de abrangência. O comitê é participativo, congregando membros de órgãos estaduais, municipais e da sociedade civil. É um fórum aberto para a atuação efetiva da sociedade, através de debate e proposição de meios para a proteção e utilização racional dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos).

Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

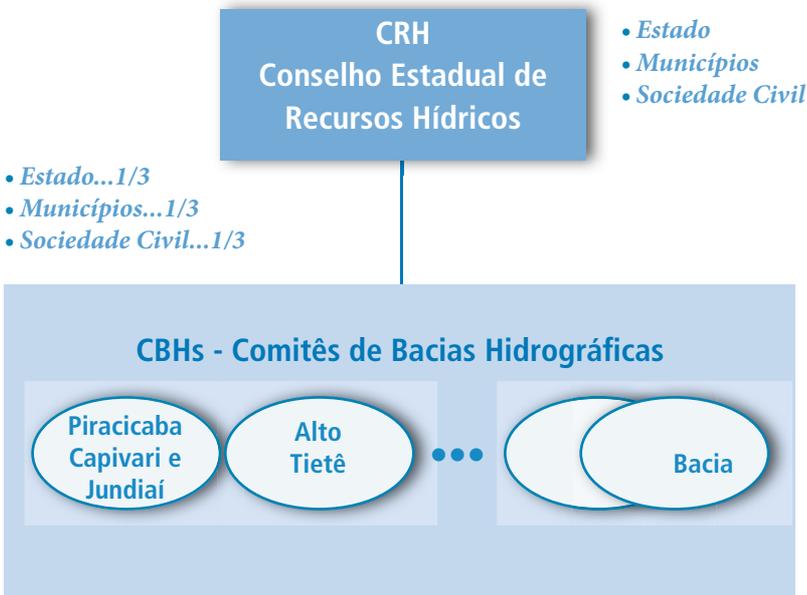
Fonte:DAEE/IG/IPT/CPRM 2005.



O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) é a instância do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, responsável pela coordenação e tomada de decisão, em âmbito estadual, que conta com a participação igualitária e tripartite de órgãos estaduais, gestores municipais e da sociedade civil.

Colegiados responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo

Baseado em SIGRH 2000.



Assim, se você quer saber quais ações estão sendo implementadas para proteger a água subterrânea do seu município, procure o Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH) ao qual ele está vinculado. Para obter informações sobre o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e os Comitês de Bacias Hidrográficas, acesse o site www.sigrh.sp.gov.br.

Bibliografia Recomendada

- BRASIL (Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde). Boas práticas no abastecimento e água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- BRASIL (Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde). Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2004-2006. (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103). São Paulo, CETESB, 2007.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE/SERH, INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT/SCTDE; CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala: 1:1.000.000 / Rocha, G. A. (Coord. Geral). São Paulo, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2005 (CD-ROM e mapa).
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo, Banco Mundial / Servmar, 2006.
- INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA, COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE/SERH. Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo / Hirata, R.C.A.; Bastos, C. R. A.; Rocha, G. A. (Coord.). São Paulo, IG/CETESB/DAEE, 2 v., 1997.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo / Bistrichi, C. A. (Coord.). Escala 1:500.000. São Paulo, IPT, 2 v., 1981.
- ROCHA, G. A.; JORBA, A.F. Manual de operação e manutenção de poços. São Paulo, DAEE, 3ª Ed., 2007.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL/COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações / Feitosa, F.A.C. & Manoel Filho, J. (Coord.). Fortaleza, CPRM/UFPE, 2ª Ed., 2000.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL/COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Glossário geológico. (Disponível em http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario_geologico.htm).
- SILVA, R. B. G. Águas Subterrâneas: Um valioso recurso que requer proteção. São Paulo, DAEE, 3ª. Ed., 2004.
- TEIXEIRA, W. (Org.) Decifrando a Terra. São Paulo, Oficina de Textos, 2000.
- WINGE, M. (Coord.) Glossário geológico ilustrado. (Disponível em <http://www.unb.br/ig/glossario>)
- WREGG, M. Termos hidrogeológicos básicos. Caderno Técnico, 4. São Paulo, ABAS, 1 v. 1997. (Disponível em <http://www.abas.org.br>).

Referência Bibliográfica

- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. Aquífero Guarani. A verdadeira integração dos países do Mercosul. Fundação Roberto Marinho, Curitiba, 2004.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Água para consumo humano. São Paulo, CETESB, sem data.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE. 1979. Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 2. Santos. DAEE, São Paulo. 3 v.
- DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. 1998. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley and Sons Inc., New York, EUA, 2ª Ed.
- FETTER, C. W. Applied Hydrogeology. Merrill Publishing Company, EUA, 3ª Ed.
- OEA - ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. 2009. Aquífero Guarani. Síntese hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani. Série Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, OEA, Montevidéu, 102 p.
- SILVA, F.P.; KIANG, C.H.; CAETANO-CHANG, M.R. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. Águas Subterrâneas, v.19, n.2, p.19-36, 2005.
- TORTORA, G. J. & GRABOWSKI, S. R. 2006. Corpo humano – Fundamentos de anatomia e fisiologia. Artmed, Porto Alegre, 6ª Ed.

Ficha Técnica

Autoria

Mara Akie Iritani - Instituto Geológico

Sibele Ezaki - Instituto Geológico

Comissão Editorial

José Ênio Casalecchi - Coordenação

Concepção das Figuras

Sibele Ezaki - Instituto Geológico

Execução das Figuras

Douglas Leonardo - Instituto Geológico (Estagiário)

Revisão Técnica

Cláudio Luiz Dias - CETESB

Elzira Dea Alves Barbour - CETESB

José Eduardo Campos - Departamento de Águas e Energia Elétrica

Luciana Martin Rodrigues Ferreira - Instituto Geológico

Luis Sérgio Ozório Valentim - Centro de Vigilância Sanitária

Colaboração Técnica

Cláudia Luciana Varnier - Instituto Geológico

Geraldo Hideo Oda - Instituto Geológico

Fernanda Souza Lima - Instituto Geológico (Estagiária)

Rogério Mendes - CETESB

Produção Editorial

Sandra Moni - Instituto Geológico

Projeto Gráfico

Vera Severo - Secretaria do Meio Ambiente

Revisão do Texto

Maria Cristina de Souza Leite - Secretaria do Meio Ambiente

CTP, Impressão e Acabamento

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

Fotos cedidas por: Alethéa Ernandes Martins Sallun • Amélia João Fernandes • Artur Deodato Alves • Francisco de Assis Negri • Helio Nóbile Diniz • Prefeitura Municipal de Ubatuba • Seiju Hassuda • Sibele Ezaki • William Sallun Filho.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente
Avenida Frederico Hermann Jr., 345
São Paulo SP 04549 900
Tel: 11 3133 3000
www.ambiente.sp.gov.br

Instituto Geológico
Avenida Miguel Stéfano, 3.900
São Paulo SP 04301-903
Tel: 11 5073 5511
www.igeologico.sp.gov.br

978-85-76624-56-8



9 788586 624568



GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO

Secretaria do Meio Ambiente