

PANORAMA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

José Luiz Gomes Zoby¹

Resumo – Uma ampla visão da qualidade das águas subterrâneas no país é apresentada. Existe uma carência de estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas em escala regional. Apenas 3 unidades da federação possuem redes de monitoramento das águas. As propriedades físico-químicas e bacteriológicas naturais das águas, de forma geral, são boas e atendem a diversos usos. Algumas restrições foram observadas nas seguintes condições: aquíferos localizados em áreas de rochas calcárias; porções mais profundas de alguns aquíferos confinados; aquíferos localmente afetados pela dissolução de minerais específicos; e terrenos cristalino do semi-árido nordestino. Por outro lado, a atividade antrópica e o crescimento descontrolado do uso da água subterrânea têm comprometido a qualidade das águas. Os instrumentos de monitoramento, de outorga de direito de uso da água e a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos são fundamentais para a proteção e uso sustentável da água.

Abstract – An overview of ground water quality in the country is presented. There is a lack of studies regarding ground water quality on a regional scale. Only 3 states present water monitoring networks. The natural physico-chemical and bacteriological properties of the waters are in general good and adequate for different uses. Some restrictions were observed under the following conditions: aquifers located at areas of marble rocks; deep parts of some confined aquifers; aquifers locally affected by the dissolution of specific minerals; crystalline terrains of the semi-arid northeastern part of Brazil. On the other hand, human activity and uncontrolled growth of ground water use have affected water quality. The instruments of monitoring, grant of the water right use, and the evaluation of the aquifer vulnerability are essential for the protection and sustainable use of the water.

Palavras-Chave – qualidade das águas; Brasil.

¹ Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Asa Sul, CEP 70.610-200, Brasília – DF – fone: 61-2109-5336, fax: 2109-5330; e-mail: jlzoby@ana.gov.br

1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais, submetido a diferentes condições físico-climáticas, que está localizado sobre um embasamento geológico que inclui desde rochas pré-cambrianas do Arqueano (mais de 2,3 bilhões de anos atrás) até sedimentos quaternários recentes. Relacionada a esta ampla diversidade de condicionantes, as águas subterrâneas apresentam-se com variadas características físico-químicas que estão também associadas às condições de dissolução das rochas e de circulação em subsuperfície.

Nesse contexto, se estabeleceu a ocupação humana que, de forma crescente, tem explorado esse recurso hídrico. O reflexo do uso crescente do recurso hídrico é a estimativa de que existam no país pelo menos 400.000 poços (Zoby & Matos, 2002). A água subterrânea é intensamente explorada no Brasil. A água de poços e fontes vem sendo utilizada para diversos fins, tais como o abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer.

Fatores importantes desencadeadores do aumento do uso das águas subterrâneas foram a crescente oferta de energia elétrica e a poluição das fontes hídricas de superfície (Leal, 1999). Além disso, as condições climáticas e geológicas do país permitiram a formação de sistemas aquíferos, alguns deles de extensão regional, com potencial para suprir água em quantidade e qualidade necessárias às mais diversas atividades.

A disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade de poços são geralmente os principais fatores determinantes na exploração dos aquíferos. Em função do crescimento descontrolado da perfuração de poços tubulares e das atividades antrópicas, que acabam contaminando os aquíferos, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento do recurso hídrico no país.

Apesar da relevância da água subterrânea para o desenvolvimento socioeconômico, o Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas. Os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados. A maior parte dos estudos de qualidade da água subterrânea publicados mais recentemente têm caráter mais localizado.

Assim, o presente trabalho, desenvolvido na Agência Nacional de Águas como contribuição à elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos, tem como objetivo oferecer uma visão geral sobre a qualidade da água subterrânea no país, as principais fontes de contaminação dos aquíferos e discutir a questão da vulnerabilidade e proteção do recurso hídrico subterrâneo. Os resultados completos do estudo foram publicados em ANA (2005a).

2 - METODOLOGIA

O estudo concentrou-se no levantamento e sistematização da bibliografia disponível sobre o tema qualidade das águas subterrâneas. Como referência, para avaliar a qualidade da água subterrânea, foram considerados limites de potabilidade da Portaria nº 518, de 2004, do Ministério da Saúde.

3 - CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A forma como as rochas armazenam e transmitem a água subterrânea influencia diretamente a sua qualidade. Os terrenos sedimentares, que dão origem aos aquíferos porosos, ocupam cerca de 4.130.000 km², ou seja, aproximadamente 48% do território nacional (Figura 1). Os terrenos cristalinos constituem os aquíferos cárstico-fraturados e fraturados, que ocupam cerca de 4.380.000 km², 52% da área do país.

Uma descrição mais detalhada da geologia e do potencial hidrogeológico dos terrenos sedimentares e cristalinos no país é apresentada no estudo “Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil” (ANA, 2005b).



Figura 1. Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo) (Fonte: Petrobras).

Os principais sistemas aquíferos do país estão situados principalmente nas bacias sedimentares brasileiras e são apresentados na Figura 2. Apresentam ampla distribuição no território nacional e a qualidade de suas águas permite aproveitamentos para diversos fins. Cabe destacar o aspecto transfronteiriço dos sistemas aquíferos, já que muitos extrapolam os limites das regiões hidrográficas.

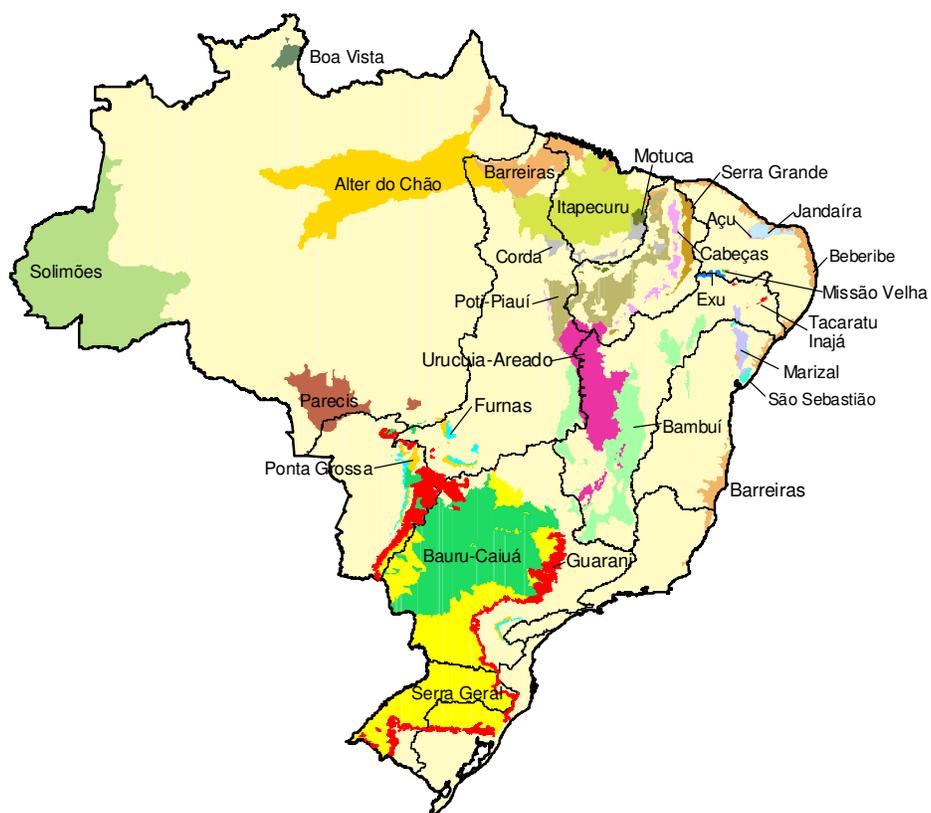


Figura 2. Distribuição dos principais sistemas aquíferos do país.

A Tabela 1 apresenta uma síntese das informações gerais sobre os principais sistemas aquíferos. São identificadas ainda as regiões hidrográficas dominantes, o tipo de aquífero (poroso, fraturado, fraturado-cárstico; livre ou confinado), a área aflorante (de recarga).

Tabela 1. Características gerais dos principais sistemas aquíferos do país.

| Sistema Aquífero | Tipo ¹ | Região Hidrográfica dominante | Área de recarga (km ²) |
|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Solimões | P,L | Amazônica | 457.664 |
| Alter do Chão | P,L | | 312.574 |
| Boa Vista | P,L | | 14.888 |
| Parecis | P,L | | 88.157 |
| Jandaíra | CF | Atlântico Nordeste Oriental | 11.589 |
| Açu | P,C | | 3.674 |
| Itapecuru | P,L | | 204.979 |
| Corda | P,L,C | Tocantins-Araguaia Parnaíba | 35.266 |
| Motuca | P,L | | 10.717 |
| Poti-Piauí | P,L,C | | 117.012 |
| Cabeças | P,L,C | | 34.318 |
| Serra Grande | P,L,C | | 30.450 |

| Sistema Aquífero | Tipo¹ | Região Hidrográfica dominante | Área de recarga (km²) |
|-------------------------|-------------------------|---|---|
| Barreiras | P,L,C | Atlântico Leste Atlântico Sudeste Atlântico Nordeste Oriental Atlântico Nordeste Ocidental Tocantins-Araguaia | 176.532 |
| Beberibe | P,L,C | Atlântico Nordeste Oriental | 318 |
| Marizal | P,L,C | Atlântico Leste São Francisco | 18.797 |
| São Sebastião | P,L,C | Atlântico Leste | 6.783 |
| Inajá | P,L,C | São Francisco | 956 |
| Tacaratu | P,L | São Francisco | 3.890 |
| Exu | P,L,C | Atlântico Nordeste Oriental | 6.397 |
| Missão Velha | P,C | Atlântico Nordeste Oriental | 1.324 |
| Urucuia-Areado | P,L | São Francisco | 144.086 |
| Bambuú | CF | Parnaíba Tocantins-Araguaia | 181.868 |
| Bauru-Caiuá | P,L | Paraná | 353.420 |
| Serra Geral | F | Paraná Atlântico Sul | 411.855 |
| Guarani | P,L,C | Uruguaí Paraguai | 89.936 |
| Ponta Grossa | P,L,C | Tocantins-Araguaia | 24.807 |
| Furnas | P,L,C | Paraguai | 24.894 |
| TOTAL | | | 2.761.086 |

¹: P: Poroso; L: Livre; C: Confinado; F: Fraturado; CF: Cárstico-fraturado

4 - REDES DE MONITORAMENTO

O país não possui uma rede de monitoramento nacional de qualidade das águas. As águas subterrâneas, segundo a Constituição Federal, são de domínio do Estado e, por isso, as iniciativas de monitoramento têm partido de algumas unidades da federação.

São Paulo possui uma rede, que foi criada em 1990 e atualmente conta com 162 poços. A ampliação da rede de 147 para 162 pontos ocorreu em 2003, quando foi iniciado o monitoramento da Região Metropolitana de São Paulo. Os parâmetros analisados foram ampliados de 33 para 40, de forma a incluir compostos orgânicos. A amostragem ocorre semestralmente (CETESB, 2004a).

Mais recentemente, foram instaladas quatro redes de qualidade das águas subterrâneas.

No Estado de Minas Gerais, em área que compreende as bacias dos rios Verde Grande, Riachão, Jequitaiá e Pacuí, foi implantada, em 2004, uma rede piloto de monitoramento da qualidade da água. A coleta de amostras foi iniciada em 2005. No Distrito Federal foi iniciado o monitoramento qualitativo em uma rede com 132 poços distribuídos pelos condomínios horizontais

e algumas cidades-satélites de Brasília. O monitoramento é trimestral, inclui 29 parâmetros físico-químicos e bacteriológicos e foi iniciado no segundo semestre de 2006.

Por fim, foi iniciado o monitoramento semestral no sistema aquífero Jandaíra, na região de Baraúna (RN) (Castro *et al.*, 2004). Uma rede telemétrica, que analisa a condutividade elétrica das águas, foi instalada na Região Metropolitana do Recife (Costa & Costa Filho, 2004).

5 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5.1 - Terrenos Sedimentares

Uma descrição completa da qualidade das águas e seus usos em cada um dos principais sistemas está disponível no Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil (ANA, 2005a). De modo geral, a qualidade das águas desses sistemas aquíferos é adequada para diversos usos. Entretanto, alguns apresentam localmente restrições, que podem limitar seus usos.

Em áreas de ocorrência de rochas calcárias são observados problemas localizados de elevada dureza e/ou sólidos totais dissolvidos que podem restringir alguns usos. Esse é o caso dos sistemas aquíferos Bambuí e Jandaíra (Diniz Filho *et al.*, 2000).

Uma outra questão relevante está associada às condições de circulação lenta nas porções mais confinadas de algumas bacias sedimentares. Nesses casos, a água subterrânea vai se enriquecendo em sais minerais em profundidade. Assim, elevados valores de sólidos totais dissolvidos já foram descritos nos sistemas aquíferos Guarani (por exemplo, Freitas *et al.*, 2002), Açú (Diniz Filho *et al.*, 2000) e Serra Grande (Santiago *et al.*, 1999).

Adicionalmente, a ocorrência natural nas rochas de minerais cuja dissolução, localmente, gera águas com concentrações acima do padrão de potabilidade. É o caso do ferro em sistemas aquíferos como Alter do Chão (FGV, 1998), Missão Velha (Fracalossi Júnior, 1986) e Barreiras (Matta, 2002 *apud* Almeida *et al.*, 2004), e do flúor nos sistemas aquíferos Bambuí (Menegasse *et al.*, 2004), Guarani (FGV, 1998) e Serra Geral (Kimmelman *et al.*, 1990 *apud* Barbour *et al.*, 2004). É conhecida ainda a ocorrência de elevados teores de cromo em águas do sistema aquífero Bauru-Caiuá que muitas vezes inviabiliza o seu uso. A origem antrópica ou natural deste composto na água ainda é controversa.

Além disso, já existem indícios de intrusão salina, por exemplo, nos aquíferos costeiros da região oceânica de Niterói (RJ) (Silva Júnior *et al.*, 2000) e no sistema aquífero Barreiras, nas cidades de São Luís (Sousa, 2000) e Maceió (Nobre & Nobre, 2000), e em áreas do Estado do Rio de Janeiro (Caetano & Pereira, 2000). Existem impactos sobre a qualidade das águas também causados pela superexploração dos aquíferos. No aquífero Beberibe, na cidade de Recife, o

superbombeamento induz o movimento de águas salinizadas do aquífero Boa Viagem por drenança vertical (Costa *et al.*, 1998).

5.2 - Terrenos Cristalinos

Nos terrenos cristalinos os problemas de qualidade natural das águas subterrâneas estão concentrados no semi-árido do Nordeste. Os poços na região exploram fraturas isoladas, muitas vezes com grandes diferenças de salinidade de uma fratura para a outra vizinha. Medidas de carbono-14 revelaram águas novas, com poucas dezenas ou centenas de anos de tempo de permanência no aquífero. Assim, a alta salinização não pode ser interna, por dissolução no aquífero, pois estes processos geoquímicos, em ambiente fechado, são relativamente lentos (Santiago *et al.*, 2000). A elevada salinidade das águas subterrâneas do cristalino semi-árido nordestino está relacionada à baixa pluviometria, que faz com que os sais transportados pela chuva (aerossóis) e acumulados no solo e fraturas não sejam lixiviados. A alta evaporação favorece a concentração dos sais. Assim, as águas que infiltram acumulam-se nas fraturas e no solo e enriquecem em sais.

O uso de dessalinizadores torna possível a utilização dos poços com água com elevada salinidade. A osmose reversa tem sido o processo mais utilizado para a remoção dos sais (Porto *et al.*, 2004). Muitas dificuldades, entretanto, estão presentes na implantação dos equipamentos de dessalinização e incluem a falta de operação e manutenção adequadas, que causam a paralisação dos mesmos, e a produção de rejeito, que normalmente é despejado no solo sem qualquer critério, provocando a erosão e a salinização do solo (Amorim *et al.*, 2004). Algumas alternativas para a questão da disposição do rejeito são a cristalização seletiva de sais, cultivo de tilápia rosa (*Oreochromis sp*) e irrigação da erva sal (*Atriplex nummularia*) (Porto *et al.*, 2002).

A falta de critérios de locação de poços, de programas de manutenção das obras de captação e os problemas de salinização das águas tornam muito elevada a quantidade de poços abandonados e desativados nas áreas do cristalino nordestino. No Estado do Ceará, em que 75% da área está situada sobre terreno cristalino, dos 11.889 poços tubulares cadastrados, 3.895 poços, ou seja, 33% estavam desativados ou abandonados (CPRM, 1998).

Projetos agrícolas com irrigação de dimensão familiar vêm sendo desenvolvidos no semi-árido do Nordeste e baseiam-se no uso de corpos aluvionares, de rios temporários, como alternativa à utilização dos aquíferos fraturados. Neste caso, a captação de água subterrânea é realizada nos sedimentos inconsolidados através de poços rasos, tipo cacimba, amazonas (poços escavados de grande diâmetro) e com drenos radiais.

A construção de barragens subterrâneas em leitos de cursos de água temporários também vem se constituindo numa solução hídrica importante, permitindo a reservação de água. A barragem

consiste de uma vala escavada transversalmente à direção de escoamento do rio, com largura total do vale e profundidade até encontrar a rocha inalterada. Ela deve ser impermeabilizada e, na parte mais profunda da vala, deve ser construído um poço Amazonas (Cirilo *et al.*, 1998).

Uma análise do programa pioneiro no semi-árido nordestino de instalação de barragens subterrâneas realizado em 1997/98 e que resultou na construção de 400 delas, revelou a presença de insucessos devido à inadequada construção e locação. Um aspecto importante é a salinização da água que é um dos riscos na implantação da barragem subterrânea e, por isso, recomenda-se a renovação das águas através do poço de bombeamento (Costa *et al.*, 2000).

6 - ÁGUAS MINERAIS

A exploração das águas engarrafadas, denominadas genericamente de “águas minerais” representa um mercado que movimenta no país em torno de US\$ 450 milhões/ano, com crescimento anual de 20% desde 1995 (Queiroz, 2004).

No Brasil, são 672 concessões de lavra de água mineral e potável de mesa distribuídas em 156 distritos hidrominerais com uma produção da ordem de 5,0 bilhões de litros/ano. Dos pontos de água cadastrados, 56% correspondem a fontes e 44% a poços, e mais de 50% estão concentrados na região Sudeste (Queiroz, 2004).

A diferenciação entre águas minerais e potáveis de mesa é realizada pelo Código de Águas Minerais, instituído pelo Decreto-Lei nº 7.841, de 1945. As primeiras são aquelas que possuem composição química ou propriedades físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhe conferem uma ação medicamentosa. As águas potáveis de mesa são aquelas que preenchem as condições de potabilidade.

Com a disseminação do uso da água engarrafada, o conceito de propriedade medicinal da água mineral originalmente existente foi reduzido. Apesar disso, as estâncias hidrominerais e termais ainda ocupam papel de destaque, por representarem uma importante atividade econômica pelo uso da água e pelo incentivo ao turismo. São exemplos de pólos turísticos e estâncias Caxambu, São Lourenço e Poços de Caldas, em Minas Gerais, Águas de Lindóia e Serra Negra, em São Paulo, e Caldas Novas, em Goiás.

A proteção das reservas de águas minerais é uma questão muito importante. A Portaria nº 231 de 1998, do Departamento Nacional de Produção Mineral, estabelece a necessidade de delimitação de perímetros de proteção ao redor da captação. São definidas três zonas: de influência; de transporte; e de contribuição.

7 - FONTES DE CONTAMINAÇÃO

As atividades antrópicas representam risco aos aquíferos e à qualidade das águas subterrâneas. São descritas, a seguir, as principais fontes de contaminação do manancial subterrâneo no país.

Construção dos poços

A forma de construção do poço é fundamental para garantir a qualidade da água captada e maximizar a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero. Essa questão encontra-se regulamentada através de duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

No país, o crescimento da utilização de águas subterrâneas foi acompanhado da proliferação de poços construídos sem critérios técnicos adequados. A perfuração de poços, nestes casos, e com locações inadequadas coloca em risco a qualidade das águas subterrâneas, à medida que cria uma conexão entre águas mais rasas, mais suscetíveis à contaminação, com águas mais profundas.

Entre os principais fatores construtivos dos poços tubulares que podem representar risco de contaminação das águas subterrâneas estão: não isolamento das camadas indesejáveis durante a perfuração, como por exemplo, a parte de rochas alteradas mais superficiais, que são mais vulneráveis à contaminação; ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço; proximidade com pontos potencialmente contaminantes da água como fossas, postos de gasolina, lixões; não desinfecção do poço após a construção; não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, que facilita a entrada de águas superficiais.

No caso específico dos poços rasos, que normalmente apresentam grande diâmetro (1 a 2 m), além dos pontos anteriormente descritos, é fundamental o acabamento da parte superior, que tem a função de vedar o poço, protegendo assim o aquífero e a água, e garantindo segurança ao usuário. Também é importante a colocação do revestimento interno do poço, que evita o desmoronamento das paredes da escavação, proporcionando a proteção de infiltrações superficiais e a sua limpeza.

Esgotos

No Brasil, o índice médio de domicílios com esgotamento sanitário é de 50,6%. Em relação ao tratamento dos esgotos, os resultados são ainda mais preocupantes, pois o índice nacional médio de tratamento dos esgotos gerados na área urbana é de apenas 28,2% (SNIS, 2003). Este quadro deficitário gera impacto não apenas sobre os rios, mas influi diretamente sobre a qualidade da água subterrânea, especialmente nas áreas urbanas. A falta de saneamento representa um risco às águas subterrâneas pela infiltração por fossas negras e pelo vazamento de redes de esgoto. Este quadro é especialmente crítico nas cidades em que existe uma elevada densidade populacional.

De modo geral, o impacto do lançamento de esgotos sobre a qualidade das águas subterrâneas pode ser detectado através de elevadas concentrações de nitrato e do surgimento de bactérias patogênicas e vírus. Normalmente a qualidade microbiológica é analisada através de coliformes

totais e fecais, e estreptococos. Os coliformes totais são utilizados apenas como indícios de contaminação. Atualmente a espécie *Escherichia coli* é considerada o melhor indicador de contaminação fecal, visto que algumas espécies de bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes fecais podem ser encontradas em outras fontes que não fezes. Diversos estudos mostram o impacto dos problemas sanitários sobre a qualidade da água subterrânea como em Manaus (AM) (Costa *et al.*, 2004) e São José do Rio Preto (SP) (Pirinha & Pacheco, 2004).

De forma geral, os poços tubulares, por captarem água a maiores profundidades que os poços rasos, são menos susceptíveis à contaminação por fossas e vazamentos de redes de esgoto.

Resíduos sólidos

Um dos grandes problemas resultantes do crescimento populacional e do desenvolvimento tecnológico e industrial é a disposição dos resíduos sólidos.

No Brasil, em 2000, foram produzidos diariamente aproximadamente 162 mil ton de lixo urbano. Os dados mostram que 63,6% dos municípios dispõem seus resíduos sólidos em lixões, 13,8% em aterros sanitários, 18,4% em aterros controlados e 4,2% não informaram o destino (IBGE, 2002).

Sob o aspecto ambiental e de preservação das águas subterrâneas, o aspecto mais importante é a questão do chorume produzido a partir do lixo. A decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos produz gases e chorume. Os gases gerados são o sulfídrico, metano, e mercaptano, que possuem odor desagradável, sendo o metano inflamável com risco de provocar explosões. O chorume é um líquido negro formado por compostos orgânicos e inorgânicos, apresenta altas concentrações de matéria orgânica e metais pesados. A infiltração do chorume contamina o solo e pode atingir a água subterrânea.

Os impactos do chorume sobre os aquíferos foram estudados em algumas áreas do país e inidcaram elevadas concentrações de metais e contaminação biológica nas águas. Alguns exemplos são em Feira de Santana (BA) (Santos *et al.*, 2004) e Belo Horizonte (MG) (Costa, 2004).

Agricultura

O desenvolvimento da agricultura no país, nas duas últimas décadas, está diretamente relacionado ao aumento da área cultivada e da produtividade. A este último fator está associado diretamente o uso de fertilizantes e agrotóxicos.

Em 2002, para 53,5 milhões de hectares plantados, o Brasil utilizou 7,6 milhões de toneladas de fertilizantes (IBGE, 2004). Os três principais nutrientes exigidos pelas culturas são o nitrogênio (N), potássio (K₂O) e fósforo (P₂O₅). Entre estes elementos, o nitrogênio é aquele que apresenta maior impacto sobre a água subterrânea, ocorrendo principalmente na forma de nitrato. Este composto apresenta alta mobilidade na água subterrânea.

Em relação aos agrotóxicos, o Brasil está entre os maiores consumidores do mundo. Embora o consumo de agrotóxicos revele tendência de aumento com o tempo, a toxicidade dos produtos vem diminuindo. Entre os mais utilizados estão os herbicidas (58% do total), associados ao modelo de plantio direto (sem revolver a terra). Depois aparecem os inseticidas (13% do consumo) e fungicidas (11% do consumo). Em 2001, para 50,7 milhões de hectares de área plantada, o Brasil utilizou 158,7 mil toneladas de agrotóxicos, com uma média de 3,13 kg/ha em 2001 (IBGE, 2004).

Estudos realizados em outros países mostram que, em áreas de intensa atividade agrícola, nas zonas de recarga. No Brasil, são ainda escassos os trabalhos que avaliam a presença de fertilizantes e agrotóxicos em áreas de agricultura e, em especial, nas áreas de recarga, onde os aquíferos tendem a serem mais vulneráveis. Por isso, a dimensão do problema ainda não é conhecida. Alguns estudos realizados abordam questões como pesticidas em região de cultivo de algodão no Mato Grosso (Souza *et al.*, 2004) e herbicidas na área de recarga do aquífero Guarani em Ribeirão Preto (SP) (Gomes *et al.*, 2001 *apud* Spadotto *et al.*, 2004).

A qualidade da água de irrigação pode também ser afetada diretamente pela agricultura através da salinização dos solos. A salinidade limita a retirada de água pelas plantas devido à redução do potencial osmótico e, assim, do potencial total de água no solo e reduz a permeabilidade. Além disso, elementos como cloreto, sódio e boro, podem se tornar tóxicos às plantas ou causar desequilíbrios nutricionais em altas concentrações (Porto *et al.*, 2004).

Indústria

O manuseio de produtos tóxicos sem a adoção de normas adequadas e a ocorrência de acidentes ou vazamentos nos processos produtivos, de transporte ou de armazenamento de matérias primas e produtos da indústria representam sério risco ao meio ambiente e à saúde humana. A existência de uma área contaminada pode causar restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado com a desvalorização das propriedades (CETESB, 2004b).

Normalmente os contaminantes produzidos pelas indústrias atingem os solos e rios, e posteriormente, dependendo das condições de vulnerabilidade do aquífero (tipo de solo, profundidade do nível de água, entre outros) podem atingir as águas subterrâneas.

Levantamento realizado pelo Ministério da Saúde revela que no país existem cerca de 15.000 áreas com contaminação em solo e/ou água e que aproximadamente 1,3 milhões de habitantes estão expostos diretamente nestas regiões. As atividades petroquímicas, de extração mineral, siderúrgicas, fábricas e galpões de agrotóxicos estão listados como principais causadores de contaminação.

As indústrias são a segunda atividade que mais contamina no Estado de São Paulo, sendo responsável por 18% das áreas contaminadas. Os principais grupos de contaminantes encontrados

nestas áreas foram os seguintes: combustíveis líquidos, solventes aromáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), metais e solventes halogenados (CETESB, 2004b).

Existem vários casos de áreas contaminadas por indústrias, como do pesticida hexaclorociclohexano (“pó de broca”) em Duque de Caxias (RJ) (Brilhante & Oliveira, 1998) e dos agrotóxicos da fábrica da Shell em Paulínia (SP).

Postos de combustíveis

Os hidrocarbonetos que compõem o petróleo são amplamente utilizados na indústria e no transporte. A produção, manuseio e transporte de combustíveis envolvem o uso de tanques de armazenamento que são suscetíveis a vazamentos e acidentes, que representam sério risco ambiental e à saúde humana. Esses hidrocarbonetos apresentam entre seus componentes, compostos depressores do sistema nervoso central e carcinogênicos, como é o caso do benzeno.

A principal forma de contaminação do subsolo por derivados do petróleo é representada pelo vazamento de tanques de armazenamento de combustíveis. Nos Estados Unidos, o vazamento dos tanques de combustível é reconhecido como a principal fonte de contaminação da água subterrânea.

No Brasil, o reconhecimento do potencial poluidor dos tanques de armazenamento subterrâneo levou à elaboração da Resolução nº 273 do CONAMA, de novembro de 2000, que estabelece que a instalação e operação de postos revendedores de combustível dependerá de licenciamento prévio do órgão ambiental.

Não existem, contudo, informações, em nível nacional, sobre o impacto do vazamento desse tanques sobre as águas subterrâneas. A experiência internacional, entretanto, indica que o problema deve ser significativo. No país, no ano de 2001, o número de postos revendedores registrados era de 32.697 (ANP, 2002). A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2004b), em novembro de 2004, havia identificado, no Estado de São Paulo, 1.336 áreas contaminadas das quais 931 registros (69% do total) eram postos de combustíveis.

Mineração

A atividade mineradora é amplamente distribuída no território nacional e explora os mais diversos minérios. Os seus impactos sobre o meio ambiente, de forma geral, são bem conhecidos e incluem a contaminação de solo, ar, sedimentos, desmatamento e poluição sonora. A questão da contaminação das águas subterrâneas, contudo, é ainda muito pouco estudada.

Uma das poucas áreas no país onde o impacto da mineração sobre os recursos hídricos subterrâneos é bem conhecido, corresponde à região de exploração de carvão nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A infiltração da água de chuva sobre os rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento alcança os corpos hídricos superficiais e subterrâneos. Essas águas adquirem baixos valores de pH (menores que 3), altos valores de ferro total, sulfato total e

outros elementos tóxicos (Alexandre & Krebs, 1995 *apud* CPRM, 2002). Um outro exemplo de degradação da qualidade da água subterrânea é da estância hidromineral de Barreiro, em Araxá (MG). As águas subterrâneas estão parcialmente comprometidas pelo bário, encontrado naturalmente nas águas profundas do aquífero granular, e o cloreto de bário, oriundo do processamento do minério (Beato *et al.*, 2000).

Cemitérios

A contaminação de águas subterrâneas por cemitérios está relacionada à alteração da qualidade química das águas e à presença de microrganismos existentes nos corpos em decomposição.

Estudos feitos em cemitérios dos municípios de São Paulo e de Santos (Matos & Pacheco, 2002; Pacheco *et al.*, 1991) constataram a contaminação do aquífero freático por microrganismos oriundos da decomposição dos corpos sepultados. Matos & Pacheco (2002) mostraram que as sepulturas provocam um acréscimo na quantidade de sais minerais (bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio), de metais (ferro, alumínio, chumbo e zinco), de bactérias heterotróficas e proteolíticas, e clostrídios sulfito-redutores, causando ainda um decréscimo do oxigênio dissolvido nas águas subterrâneas. Também foram encontrados enterovírus e adenovírus nas águas subterrâneas. Migliorini (1994) observou o aumento na concentração de íons e de produtos nitrogenados nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa em São Paulo. A presença de bactérias e produtos nitrogenados no aquífero freático também foi constatada por Marinho (1998) no Cemitério São João Batista, em Fortaleza.

Reconhecendo os cemitérios como fonte potencial de contaminação, em 2003, o CONAMA publicou a Resolução nº 335, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

8 - PROTEÇÃO DE AQUIFEROS

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos é crítico, pois os custos de remediação de aquíferos são altos e tecnicamente é muito difícil a sua recuperação para as condições originais.

A definição da vulnerabilidade natural de um aquífero pressupõe a realização de estudo hidrogeológico para definição das suas características mais importantes como extensão, área de recarga, profundidade do nível de água, qualidade das águas e parâmetros como condutividade hidráulica. A partir destas informações é possível avaliar sua vulnerabilidade à contaminação.

A proteção dos aquíferos envolve o conceito de perigo de contaminação, que pode ser definido pela interação e associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou em subsuperfície (Foster & Hirata, 1988). A interação destes fatores permite avaliar o grau de perigo de poluição a que um aquífero está sujeito. Nesta avaliação,

deve ser ponderada a essencialidade do recurso hídrico afetado (Hirata & Suhogusoff, 2004). Deste modo, pode-se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem perigo de poluição, pela ausência de carga contaminante significativa, ou vice-versa. As áreas críticas, que correspondem às áreas com alta vulnerabilidade e elevada carga poluidora, podem ser então definidas e nelas deverão ser tomadas medidas de prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas.

O controle do uso e ocupação do solo, por meio da restrição e fiscalização das atividades antrópicas, é uma das estratégias de proteção da água subterrânea, podendo ter dois enfoques (Dias *et al.*, 2004). O primeiro é a proteção geral de um aquífero, identificando áreas mais suscetíveis de forma a promover um controle regional do uso do solo em toda a sua extensão. O segundo enfoque é a proteção pontual, voltada a uma captação de água subterrânea.

A integração de mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação e de perímetros de proteção de poços é fundamental para a proteção das águas (Hirata & Suhogusoff, 2004).

No Brasil, são ainda escassos os estudos sobre a questão de proteção e vulnerabilidade de aquíferos. O Estado de São Paulo propôs, de forma pioneira, critérios técnicos para a adoção de perímetros de proteção de poços. Em algumas regiões do país com expressiva demanda por água já foram realizados estudos para a determinação da vulnerabilidade e/ou perigo de contaminação. Alguns exemplos são o mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição no Estado de São Paulo (IG/CETESB/DAEE, 1997), na porção noroeste da área metropolitana de Belém (Bandeira *et al.*, 2004), no aquífero Serra Geral em Londrina (PR) (Santos *et al.*, 2004) e no aquífero Beberibe no setor norte da Região Metropolitana de Recife (Lima Filho & Melo, 2004).

Por fim, cabe destacar que a proteção das águas subterrâneas depende diretamente das atividades antrópicas e, portanto, só se torna eficiente se adotada conjuntamente dentro dos planos diretores de uso e ocupação dos solos dos municípios.

9 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De forma geral, as águas subterrâneas no país, são de boa qualidade com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos, incluindo o consumo humano. Na sua forma natural, as principais restrições que eventualmente existem são:

- Problemas localizados de elevada dureza e/ou sólidos totais dissolvidos nas regiões de ocorrência de rochas calcárias, como, por exemplo, os sistemas aquíferos Bambuí e Jandaíra;
- Elevados valores de sólidos totais dissolvidos nas porções mais profundas dos aquíferos, especialmente nas partes confinadas das bacias sedimentares, como é o caso do Guarani, Açú e Serra Grande;

- Elevados valores de sólidos totais dissolvidos nos poços que exploram os aquíferos fraturados (terrenos cristalinos) do semi-árido nordestino. O uso de dessalinizadores tem sido uma alternativa para o aproveitamento destas águas. O uso de aluviões e barragens subterrâneas, desde que tecnicamente bem planejadas, são alternativas importantes para o abastecimento de água;

- Ocorrência natural nas rochas de minerais cuja dissolução, localmente, gera águas com concentrações acima do padrão de potabilidade. É o caso do ferro em sistemas aquíferos como Alter do Chão, Missão Velha e Barreiras, e do flúor no Bambuí, Guarani e Serra Geral. É conhecida ainda a ocorrência de elevadas concentrações de cromo em águas do sistema aquífero Bauru-Caiuá que muitas vezes inviabiliza o seu uso.

Embora as águas subterrâneas possuam uma qualidade natural muito boa, as atividades antrópicas, nas últimas décadas, têm comprometido significativamente alguns aquíferos. Os principais problemas identificados são:

- Inadequada construção, sem vedação sanitária, de poços rasos e profundos pode torná-los fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas pela conexão direta que proporcionam entre a superfície e as porções mais rasas do aquífero com as partes mais profundas. A questão do fechamento de poços abandonados e desativados também é importante na proteção dos aquíferos;

- Proliferação de poços que gera problemas de superexploração dos aquíferos, comprometendo indiretamente a qualidade das águas. É o caso do aquífero Beberibe, em que o superbombeamento induz o movimento de águas salinizadas do aquífero Boa Viagem;

- Carência dos sistemas de saneamento é uma realidade comum em todo o país e em especial nas zonas rurais e subúrbios dos grandes centros urbanos. Neste caso, é comum a contaminação microbiológica e por nitratos das águas subterrâneas. Este problema já foi bem estudado e caracterizado na área de ocorrência do sistema aquífero Barreiras, em cidades como São Luís, Fortaleza, Belém e Natal, mas é também generalizado no país;

- Bombeamento de poços na região costeira, que aumenta a intrusão da cunha de água do mar, gerando problemas de salinização das águas. Além disso, já existem indícios de intrusão salina, por exemplo, nos aquíferos costeiros da região oceânica de Niterói (RJ) e no sistema aquífero Barreiras, nas cidades de São Luís, Maceió e em áreas do Estado do Rio de Janeiro;

- Disposição inadequada de resíduos sólidos em lixões. O chorume infiltra e atinge os aquíferos. Um cenário bastante comum no país é a presença de famílias vivendo próximas a lixões e que acabam consumindo a água subterrânea local;

- Atividade industrial em que a disposição inadequada de resíduos sólidos associada a eventuais acidentes contamina o solo e a água subterrânea. Como exemplo, existe o caso da Shell em Paulínia, São Paulo;

- Vazamentos de tanques de armazenamento de postos de combustíveis. Alguns compostos presentes nos combustíveis, como o benzeno, são cancerígenos. A dimensão do problema no Brasil ainda é pouco conhecida, mas a julgar pela experiência internacional ela deve ser significativa. No Estado de São Paulo, os líquidos combustíveis representam o principal grupo de contaminantes e o armazenamento de combustíveis é considerada a principal atividade contaminadora;

- O uso de insumos agrícolas, como agrotóxicos (inseticidas, herbicidas, pesticidas e fungicidas, entre outros) e fertilizantes tem grande potencial de contaminação difusa. Entre as diversas origens propostas para a ocorrência de elevadas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru-Caiuá está o uso de fertilizantes. O impacto da atividade agrícola sobre a qualidade das águas subterrâneas no país ainda é desconhecida, em função dos poucos estudos realizados sobre o tema. O comportamento em subsuperfície de muitos agroquímicos, em termos de mobilidade e biodegradação, ainda não foi adequadamente avaliado;

- Os impactos da mineração sobre os recursos hídricos subterrâneos são ainda pouco estudados no Brasil. Uma das poucas áreas em que o conhecimento é razoável ocorre no Estado de Santa Catarina, onde a mineração de carvão afeta a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

No Brasil, existe uma grande carência de informação a respeito da qualidade das águas subterrâneas. Há uma lacuna de estudos sistemáticos sobre os aquíferos em um contexto regional. As fontes de informação mais importantes sobre o tema têm, em geral, caráter pontual e correspondem aos trabalhos desenvolvidos nas universidades e alguns elaborados pelas secretarias estaduais. Neste quadro, de forma geral, observa-se uma maior carência de informações sobre aquíferos e qualidade de águas nas bacias sedimentares do Amazonas e Parnaíba.

A avaliação espacial e periódica da qualidade da água, que normalmente apresenta uma variação sazonal, só pode ser obtida através de um monitoramento sistemático. No país, apenas São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal possuem redes. São necessários, portanto, esforços no para criação de redes de monitoramento nos Estados que permitam caracterizar a qualidade natural das águas subterrâneas e avaliar os efeitos antrópicos especialmente nas regiões de maior demanda.

A informação disponível no país sobre a qualidade de água subterrânea é ainda bastante limitada também quanto ao número de parâmetros analisados. Normalmente as análises químicas envolvem determinações de sólidos totais dissolvidos e alguns íons maiores. São escassos os dados sobre parâmetros como compostos orgânicos, que são relacionados à atividade industrial, nitrato e pesticidas, que são normalmente associados à agricultura. Sem esse tipo de informação não é possível adequadamente avaliar a influência destas atividades na contaminação dos aquíferos.

Uma outra etapa fundamental no gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos é a questão da proteção das águas subterrâneas. Neste sentido, o planejamento da ocupação de áreas de

recarga e o zoneamento dos aquíferos, segundo a sua vulnerabilidade natural, de forma a orientar a ocupação futura do solo através dos planos diretores é fundamental. Tal ação é de particular relevância nas áreas críticas onde a demanda por água subterrânea é elevada e onde são fortes as tendências de crescimentos populacional, industrial e agrícola.

Cabe destacar que o instrumento da outorga do direito de uso da água é o mecanismo capaz de garantir a sustentabilidade e proteção dos aquíferos e a qualidade da obra de captação da água subterrânea. Os critérios para emissão da outorga devem ser baseados em critérios que considerem a disponibilidade hídrica subterrânea e a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2005a. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> > Acesso em: 15 julho 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, 2005b. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> > Acesso em: 15 julho 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). 2002. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural**. Brasília, ANP. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_estat.asp#>. Acesso em: 20 de dezembro de 2003

ALMEIDA, F.M.; MATTA, M.A.S.; DIAS, E.R.F.; SILVA, D.P.B.; FIGUEIREDO, A.B. **Qualidade das águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras na bacia hidrográfica do Tucunduba – Belém/PA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

AMORIM, M.C.C.; PORTO, E.R.; MATOS, A.N.B.; SILVA, D.F. **Diagnóstico de dessalinização de água salobra subterrânea em municípios do Estado da Paraíba – Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

BANDEIRA, I.C.N.; ALMEIDA, F.M.; DIAS, E.R.F.; MATTA, M.A.S.; FIGUEIREDO, A.B.; MENDES, J.M.C. **Aspectos de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos da bacia do Paracuri, Belém/PA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

BARBOUR, E.D.A.; DIAS, C.L.; CASARINI, D.C.P.; LEMOS, M.M. **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

BEATO, D.A.C.; VIANA, H.S.; DAVIS, E.G. **Avaliação e diagnóstico hidrogeológico dos aquíferos de águas minerais do Barreiro do Araxá, MG – Brasil**. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

BRILHANTE, O. M. & OLIVEIRA, R. M. (1998) **Environmental health risk assessment of a site contaminated by pesticides: Duque de Caxias, State of Rio de Janeiro, Brazil**. In: Inter-American Congress of Sanitary and Environmental Engineering, 16., Lima – Peru, 1998. Lima, 1998. Disponível em: < <http://www.ihs.nl/downloads/>>. Acesso em: 26 de abril 2005.

CAETANO, L.C. & PEREIRA, S.Y. **Água subterrânea no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil**. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e

CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

CASTRO, V.L.L.; OLIVEIRA, W.D.; LIZÁRRAGA, G.; CARLOS, M.F.; DINIZ FILHO, J.B.; MELO, J.G. **Ações e procedimentos de gestão adotados no aquífero Jandaíra – região de Baraúna/RN.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

CIRILO, J.A.; COSTA, W.D. PONTES, M.; MAIA, A.Z. **Barragem subterrânea: Um programa pioneiro em Pernambuco.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 4., Campina Grande, 1998. Campina Grande: ABRH, 1998. CD-ROM.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no Estado de Ceará.** Fortaleza, 1998.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Perspectivas do meio ambiente do Brasil – Uso do subsolo.** CPRM, 2002. 54 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo – 2001 – 2003. CETESB, 2004a. 106 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo Novembro / 2004.** 2004 b. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/relacao_areas.asp> Acesso em: 12 fevereiro 2005.

COSTA, A.M.R.; WAICHMAN, A.; APARÍCIO DOS SANTOS; E. E. **Uso e qualidade da água subterrânea na cidade de Manaus.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

COSTA, W.D. & COSTA FILHO, W.D. **A gestão dos aquíferos costeiros de Pernambuco.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

COSTA, W.D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A.C.; COSTA FILHO, W.D.; MONTEIRO, A.B.; SOUZA, F.J.A. **Zoneamento de exploração das águas subterrâneas na cidade do Recife – PE.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., São Paulo, 1998. São Paulo: ABAS, 1998. CD-ROM.

COSTA, W.D.; CIRIL, J.A.; ABREU, G.H.F.G.; COSTA, M.R. **O aparente insucesso das barragens subterrâneas em Pernambuco.** In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

DIAS, C.L.; IRITANI, M.A.; GUILLAUMON, J.R.; CASARINI, D.C. P. ; OKANO, O.; FERREIRA, L.M.R.; FRISCH, H.; TROEGER, U.; SCHULER, G. **Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no Estado de São Paulo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

DINIZ FILHO, J.B.; MELO, J.G.; BARROSO, T.T.; DUARTE, U. **Potencialidades e consumo de águas subterrâneas no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim/RN.** In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

FOSTER, S. & HIRATA, R. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.** Lima, CEPIS, 1988. 78p.

FRACALOSSO JÚNIOR, M. Aspectos hidrogeológicos da Bacia do Araripe. Aquíferos Missão Velha e Mauriti. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., Brasília, 1986. **Anais...** Brasília: ABAS, 1986. p. 159-170.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília, 1998.

HIRATA, R. & SUHOGUSOFF, A.V. **A proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil 2004**. Disponível em: <<http://www2.ibge.gov.br/pub/>> Acesso em: 20 março 2005

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG); COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB); DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG, CETESB, DAEE, 1997.

LEAL, A.S. **As águas subterrâneas no Brasil. Ocorrências, disponibilidades e usos**. O Estado das Águas no Brasil. Brasília: ANEEL, 1999. CD-ROM. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas. ÁGUA)

LIMA FILHO, M. & MELO, N.A. **Risco à poluição do aquífero Beberibe no setor norte da Região Metropolitana do Recife**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

MARINHO, A.M.C.P. **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza**. 1998. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Ceará.

MATOS, B.; PACHECO, A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

MENEGASSE, L.N.; COSTA, W.D.; FANTINEL, L.M.; UHLEIN, A.; FERREIRA, E.F.; CASTILHO, L.S. **Controle estrutural do fluoreto no aquífero cárstico do município de São Francisco – MG**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004a. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

MIGLIORINI, R.B. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo**. 1994. 74 p. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOBRE, M.M.M. & NOBRE, R.C.M. **Uso sustentável de águas subterrâneas na Região Metropolitana de Maceió**. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, T.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A. **Cemeteries - a potential risk to groundwater**. *Water Science and Technology*, v. 24, n. 11, p. 97-104. 1991.

PIRANHA, J.M. & PACHECO, A. **Vírus em águas subterrâneas usadas para abastecimento de comunidades rurais do município de São José do Rio Preto (SP)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

PORTO, E.R.; SILVA JUNIOR, L.G.A.; ARAUJO, O.J.; AMORIM, M.C.C. **Usos alternativos para água subterrânea no semi-árido brasileiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

PORTO, E.R.; BRITO, L.T.L.; SOARES, J.M. **Influência no solo da salinidade do rejeito da dessalinização usado para irrigação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

QUEIROZ, E.T. **Diagnóstico de águas minerais e potáveis de mesa do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

SANTIAGO, M.M.F.; BATISTA, J.R.X.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J.; SANTIAGO, R.S. **Mudanças na composição química das águas subterrâneas do município de Picos – PI.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, 1999. Belo Horizonte, ABRH, 1999. CD-ROM.

SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. **Mecanismos de salinização em águas do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí.** In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

SANTOS, C.B.; LEAL, L.R.B.; LUZ, J.A.G.; MELLO, J.C. **Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana – BA.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

SANTOS, M.M.; KIANG, C.H.; CELLIGOI, A. **Índice DRASTIC: método de apoio à avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero local na área urbana de Londrina – PR.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

SANTOS, M.M.; KIANG, C.H.; CELLIGOI, A. **Índice DRASTIC: método de apoio à avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero local na área urbana de Londrina – PR.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

SILVA JÚNIOR, G.C.; LOWSBY, M.G.; ALVES, M.G.; FERRUCIO, P.L.; MONTEIRO, A.C.; ALMEIDA, R.R. **A problemática da intrusão marinha nos aquíferos costeiros do Leste Fluminense: Um estudo de caso – A região oceânica de Niterói.** In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2003.** Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diag_2003.htm> Acesso em: 28 março 2005.

SOUSA, S.B. **Sistema aquífero da Ilha do Maranhão (MA).** In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

SOUZA, V.; CARBO, L.; DORES, E. F. G. C.; RIBEIRO, M. L.; VECCHIATO, A. B.; WEBER, O. L. S.; PINTO, A. A.; SPADOTTO, C. A.; CUNHA, M. L. F. **Determinação de pesticidas em águas de poços tubulares em áreas de cultura de algodão na microrregião de Primavera do Leste, Mato Grosso.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A. F.; MATALLO, M.B.; LUCHINI, L.C. **Previsão da lixiviação do herbicida tebuthiuron no solo e estimativa da concentração em águas subterrâneas em área de recarga do aquífero Guarani.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

ZOBY, J.L.G. & MATOS, B. **Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.