

# A Inserção da Água Subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento

**Aldo da C. Rebouças**

*Instituto de Geociências e Instituto de Estudos Avançados - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – USP  
ABAS - Associação Latino-Americana de Hidrologia Subterrânea para o Desenvolvimento – ALHSUD - [arebouca@usp.br](mailto:arebouca@usp.br)*

Artigo convidado. Aprovado em setembro.

## RESUMO

*Ainda nas últimas décadas do século XX, parece que ostentar a abundância de água era uma forma de justificar os grandes desperdícios e a degradação da sua qualidade em níveis nunca imaginados. Entretanto, os custos crescentes dos projetos de captação das águas e a escassez progressiva de dinheiro levaram a uma avaliação mais abrangente dos sistemas hídricos. A partir daí, o objetivo maior vem sendo à busca da eficiência dos usos e a inserção da água subterrânea, procurando a diminuição do capital investido nos sistemas de abastecimento d'água. Além disso, sabe-se que a água subterrânea é o maior manancial de água doce líquida da Terra ao alcance dos meios técnicos e financeiros disponíveis, acusa com grande atraso as irregularidades das chuvas e é a alternativa mais barata de abastecimento do consumo humano, principalmente.*

**Palavras-chave:** água subterrânea; água doce; gerenciamento.

## INTRODUÇÃO

Procura-se chamar a atenção sobre a necessidade de inserção da água subterrânea no sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos, embora a sociedade brasileira, em geral, pareça acostumada a considerar recurso hídrico tão somente a água que flui visível pelos rios ou que se acumula nos pantanais e açudes.

Entretanto, a extração desordenada atual da água subterrânea de uma bacia hidrográfica poderá afetar, principalmente, o escoamento básico dos seus rios, a descarga das suas fontes ou nascentes, os níveis dos seus açudes (*assuad*, palavra de origem mourisca que significa represa d'água), lagoas e pantanais, engendrar o deslocamento da interface marinha nos seus aquíferos costeiros e reduzir a umidade dos seus solos que dá suporte ao desenvolvimento da exuberante biomassa natural ou cultivada. Assim, torna-se necessário considerar na abordagem do gerenciamento de uma bacia hidrográfica o *Green water flow*, ou seja, a parcela de água de infiltração que umedece o solo e dá suporte ao desenvolvimento da biomassa natural e cultivada. Além disso, tem-se a água que flui pela superfície do terreno e vai desaguar nos rios ou é estocada nos pantanais e açudes, o *Blue water flow*. Por sua vez, tem-se o *Gray water flow*, isto é, a água de infiltração natural, induzida ou artificialmente injetada – água de chuva coletada pelas galerias pluviais, de enchentes de rios e de reuso, principalmente – que flui “escondida” pelo subsolo e alimenta as descargas de base dos rios da bacia hidrográfica em apreço.

Vale salientar que, em função do desenvolvimento das tecnologias de construção de poços, a performance crescente das bombas e a expansão da oferta de energia elétrica, principalmente, já não há limitação técnica para extração ou monitoramento da água subterrânea que é estocada nos aquíferos profundos ou confinados do mundo, em geral, e do Brasil em particular.

A inserção da água subterrânea – maior manancial de água doce líquida acessível aos meios técnicos e econômicos disponíveis – no sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos é uma necessidade imposta pelo mercado global, sobretudo, porque a sua utilização é a alternativa mais barata de abastecimento humano nos países industrializados, principalmente. Ao ganho econômico assim alcançado juntam-se dois outros: um de natureza operacional à medida que a inserção da água subterrânea acaba proporcionando uma fonte d'água complementar, de extrema importância em regiões onde o fornecimento de água não é seguro ou onde a fonte própria da empresa está operando próximo ao limite. O segundo está ligado à imagem do empreendimento, já que o maior uso da água subterrânea acaba revelando a preocupação com a qualidade do ambiente em geral.

Além disso, os exemplos de sucesso da possibilidade de se atender demandas futuras de água, mediante um uso atual cada vez mais eficiente, tornam-se cada vez mais numerosos nos países desenvolvidos, principalmente. Portanto, atualmente, fornecer água pelo menor custo possível e saber usá-la, parece ser cada vez mais importante do que ostentar sua abundância ou escassez.

## ORIGENS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para inserção da água subterrânea no sistema de gerenciamento integrado, torna-se necessário considerar as origens dos seus volumes principais. Em escala mundial, o volume de água subterrânea é estimado, atualmente, em 23 milhões de quilômetros cúbicos (UNESCO/PHI, 1998). Este volume de água corresponde à parcela da *hidrosfera* que ocorre nos poros e fissuras milimétricas do subsolo das partes emersas da Terra, tais como continentes e ilhas. No Mundo, estas águas subterrâneas têm, regra geral, três origens principais: *meteórica, conata e juvenil*.

## Origem meteórica

Corresponde às águas subterrâneas que são naturalmente recarregadas pela infiltração da parcela das que caem da atmosfera – chuva, neblina e neve, principalmente – nos continentes, em geral, e numa bacia hidrográfica, em particular. O volume de água subterrânea mais francamente recarregada pelas infiltrações de origem meteórica na Terra é estimado em 10 milhões km<sup>3</sup>. Este volume ocorre, regra geral, até a profundidade média de mil (1.000) metros e flui lentamente (cm/dia) através do solo/subsolo, podendo desaguar nos corpos d'água superficiais durante os períodos de estiagem ou sem chuvas, por exemplo. Assim, a determinação do escoamento básico dos rios constitui, regra geral, uma metodologia consistente de avaliação das recargas naturais da água subterrânea da bacia hidrográfica em apreço (Rebouças, 1999).

Portanto, na região de rios perenes a contribuição dos fluxos subterrâneos é suficiente para alimentar as suas descargas durante o período sem chuvas. Esta situação ocorre sobre mais de 90% do território nacional. Ao contrário, quando os rios têm regime de fluxo temporário, significa que a contribuição dos fluxos subterrâneos não é suficiente para alimentar as suas descargas de base durante o período de estiagem ou sem chuvas. Esta situação ocorre nas bacias hidrográficas do Nordeste semi-árido que foram esculpidas em suas maiores extensões em rochas subaflorentes e praticamente impermeáveis do embasamento geológico Pré-cambriano (Rebouças, 1997 e 1999).

## Águas conatas

Estas águas subterrâneas estão retidas ou “conatas” nos sedimentos, desde o momento da formação dos referidos depósitos, ou foram recarregadas durante períodos climáticos mais favoráveis, tal como ocorre nos sistemas aquíferos High Plains e Great Plains (USA) cuja última fase de recarga mais abundante parece ter ocorrido durante o último Período Glacial. Por isso, os desequilíbrios engendrados pela intensa extração poderão ser recuperados num período de tempo de centenas a milhares de anos (Johnston, 1997).

Vale salientar que, atualmente, a utilização das “águas fósseis” revela-se viável em muitos países, a exemplo da extração do petróleo, tal como ocorre em países do Norte da África e do Oriente Médio sob condições de “estresse de água” nos seus rios, ou seja, onde a divisão das descargas médias de longo período dos rios pela respectiva população nacional indica valores inferiores a 1000 m<sup>3</sup>/ano *per capita*. Entretanto, estas “águas fósseis” integram-se ao gigantesco mecanismo de circulação das massas e energias na Terra, geralmente associado à Tectônica de Placas (Lovelock, 1991).

## Origem juvenil

Experiências de laboratório revelam que a quantidade de água que é gerada pelos processos de formação das ro-

chas graníticas magmáticas, principalmente, é estimada em cerca de 0,3 quilômetro cúbico por ano (Berner & Berner, 1987). Esta parcela de água subterrânea integra-se ao gigantesco ciclo hidrológico da Terra, por meio dos mecanismos geológicos de circulação de massas e energias que geram as rochas, os quais são, geralmente, comandados pela Tectônica de Placas (Lovelock, 1991). Portanto, a quantidade de águas subterrâneas de origem juvenil é quase insignificante, comparativamente aos volumes de origem meteórica.

## PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS DO BRASIL

A inserção da água subterrânea no sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos necessita considerar as particularidades que ocorrem no nível das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas como unidades de planejamento. Neste caso, a grande novidade é acabar com a idéia de que todas as bacias e mananciais poderão ser regidos por uma legislação única que, por natureza, não dá conta da complexidade de cada sistema particular.

Atualmente, no complexo quadro geológico do Brasil – litológico, tectônico e estrutural, principalmente – pode-se identificar 10 províncias hidrogeológicas. Em cada um destes domínios hidrogeológicos as condições de estocagem (porosidade), de fluxo (permeabilidade) e de recarga natural (infiltração das chuvas) são relativamente similares (Figura 1).

Nos domínios de rochas de porosidade/permeabilidade intersticial primária dominante, têm-se as aluviações ao longo dos rios, as dunas litorâneas, principalmente, e as rochas sedimentares (Rebouças, 1988 e 1999).

Nos depósitos aluviais e dunas, as águas subterrâneas são rasas ou freáticas, muito vulneráveis e se encontram, regra geral, sob condições de pressão atmosférica normal, ou seja, formam aquíferos do tipo livre. Como corolário, as condições de uso e ocupação do ambiente no meio urbano, principalmente, podem afetar, fundamentalmente, a qualidade destas águas. A captação é feita, sobretudo, por meio de poços rasos (regra geral, com profundidades de 3, 5, 10 m), cravados e escavados ou cacimbões.

Nas bacias sedimentares, os depósitos são, relativamente, extensos e mais ou menos consolidados, constituindo domínios hidrogeológicos importantes. Estes formam, por vezes, seqüências alternadas de camadas argilosas e arenosas, os quais podem ser compartimentados por zonas de fraturas.

Esta compartimentação tectônica engendra, com freqüência, alterações mais ou menos importantes nos sistemas de fluxos subterrâneos, configurando zonas de recarga e descarga, fora das suas zonas de afloramento das respectivas camadas ou conjunto de camadas aquíferas (Rebouças, 1976 e 1999).

Nas bacias sedimentares, regra geral, tem-se:

- a. aquíferos (*aqui* = água, *fere* = suporte), ou seja, camadas de arenitos cujos coeficientes de porosidade es-

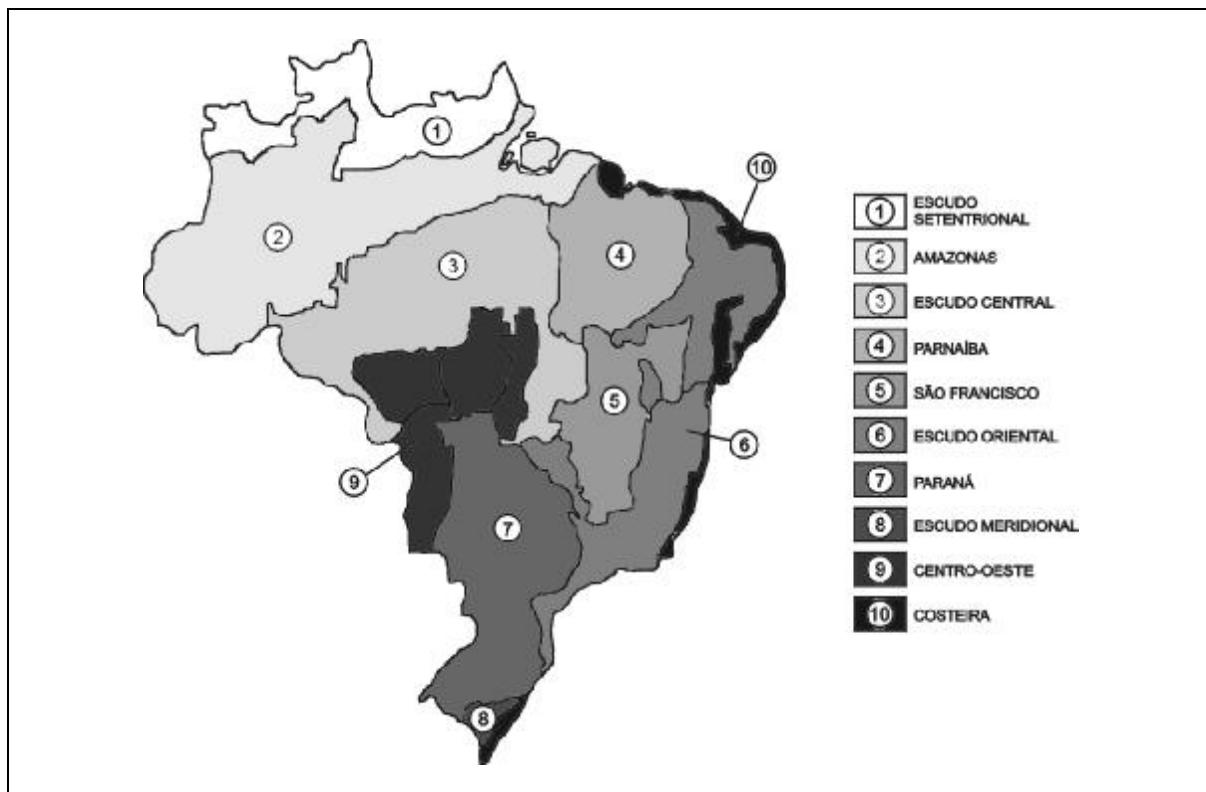


Figura 1. Províncias hidrogeológicas do Brasil (DNPM/CPRM, 1983).

pecífica ( $S_y = 1\text{-}15\%$ ) e de condutividade hidráulica ( $K = 1.10^{-2}$  a  $10^{-5}$  m/s) são, comparativamente, os maiores na região em apreço.

- b. aquítardes (*aqui* = água, *tardio* = tardio, lento), ou seja, corpos rochosos formados por seqüências alternadas de siltos/siltitos ou por misturas em proporções variadas de argilas, siltos/siltitos e arenitos finos. Neste caso, os espaços vazios entre as partículas sólidas são parcialmente ocupados por outras menores, resultando numa sensível redução do seu coeficiente de porosidade específica ( $S_y = 0,5\text{-}5\%$ ) e da sua condutividade hidráulica ( $K = 10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m/s). Como corolário, os volumes de água subterrânea que flui através dos aquítardes são, comparativamente, lentos ou tardios.
- c. aquíclides (*aqui* = água, *cludere* = aprisionar), são camadas ou corpos rochosos essencialmente argilosos ou que foram submetidos a intensos processos de compactação/cimentação ou diagenéticos, principalmente. Nos depósitos de argila o coeficiente de porosidade total poderá ser muito elevado ( $m = 34\text{-}60\%$ ), enquanto nas rochas compactadas este poderá ser, praticamente, nulo.

Todavia, em ambos os casos a condutividade hidráulica regional nos aquíclides no Brasil, é muito baixa ( $K$  variando entre  $10^{-7}$  a  $10^{-11}$  m/s). Como corolário, o volume

de água que flui nos aquíclides sob a ação do gradiente hidráulico natural é praticamente nulo (Rebouças, 1988, 1999).

Cerca de metade do território nacional é formado de rochas sedimentares onde ocorrem em torno de 90% dos volumes de água subterrânea estocada do Brasil e todos os seus rios são perenes, ou seja, nunca secam. Por sua vez, o gradiente hidráulico do fluxo subterrâneo nestes domínios pode ser, local e ocasionalmente, ascendente sobre grandes extensões, alimentando fontes, lagoas e outras formas de exudações naturais. Os poços nestas áreas são, regra geral, do tipo tubular profundo (30, 50, 100, 150, 250 e 500 m, principalmente) e, local e ocasionalmente, artesianos, isto é, proporcionam vazões espontâneas.

As águas subterrâneas das bacias sedimentares estão, relativamente, protegidas contra os agentes de poluição – doméstica, industrial e agrícola com uso intensivo de insumos químicos modernos – e são, regra geral, de boa qualidade para consumo – doméstico, industrial e irrigação, principalmente.

Além disso, local e ocasionalmente os termos mais arenosos e as zonas fraturadas dos aquítardes regionais, tal como ocorre nos ritmitos da Formação Estrada Nova, ou nos aquíclides regionais, tal como se tem nos basaltos da Formação Serra Geral, confinante do Sistema Aquífero Guarani de idade Mesozóica, pode-se ter poços com uma boa produção (Rebouças, 1976 e 1988).

No extenso domínio de perto de quatro milhões de quilômetros quadrados de rochas do embasamento geológico de idade Pré-cambriana, tem-se dois contextos hidrogeológicos bem distintos:

- Os terrenos cristalinos ou similares de idade Pré-cambriana, onde as características de porosidade/permeabilidade dominantes são do tipo fissural. Neste contexto, as possibilidades hidrogeológicas mais promissoras de acumulação de água subterrânea ficam restritas às zonas de rochas fraturadas e às manchas aluviais que se formam ao longo dos seus principais rios.

Pertencem a este contexto os 600.000 km<sup>2</sup> do Nordeste semi-árido, cujas bacias hidrográficas foram esculpidas em rochas do embasamento geológico de idade Pré-cambriana. Vale ressaltar que nesta extensão as médias pluviométricas variam entre 400 e 800 mm/ano, enquanto as taxas de evaporação medidas em “tanques Classe A” variam entre 1000 e mais de 3000 mm/ano.

Desta forma, não seria correto dizer que chove pouco no semi-árido do Nordeste, mas que evapora muito. Além disso, não se tem condições favoráveis à estoquegem de água no seu subsolo, protegida dos intensos processos de evaporação. Por sua vez, a experiência mostra que as “entradas d’água” mais importantes das zonas fraturadas aquíferas são atravessadas pelos poços tubulares, regra geral, até profundidades de 60 metros (Rebouças, 1973 e 2001). Neste quadro, portanto, o uso cada vez mais eficiente da gota d’água disponível é de fundamental importância como fator do desenvolvimento sustentável preconizado na Agenda 21, principal documento aprovado pelos governos participantes da Rio-92.

Por sua vez, no caso da produção de alimentos, não se deve perder de vista o fato de que para cada tonelada de grãos que é produzida se consume uma tonelada de água, pelo menos. Isto significa a exportação virtual de água para os países dependentes da nossa produção de grãos, pelo menos. Assim, há um preço virtual da água, sobretudo do *green water flow*; à medida para produção de grãos a irrigação no Brasil é incipiente.

Por sua vez, vale destacar que, o fato de se bombear, livremente, um poço, por exemplo não significa, necessariamente, que a água extraída seja gratuita, pois se tem o custo da energia de bombeamento, pelo menos. Desta forma, quando um cano vaza ou uma torneira pinga é dinheiro que se perde.

Além disso, como o investimento necessário à obtenção da água subterrânea é, normalmente, feito pelo próprio usuário, cresce a preocupação com o nível de eficiência do seu uso. Por sua vez, como há preocupação com a viabilidade econômica da atividade, procura-se produzir aquilo que o mercado melhor remunera. Ao contrário, quando o manancial de abastecimento é superficial, o investimento necessá-

rio é, normalmente, muito alto e feito pelo governo provedor. Como corolário, o usuário sente-se menos comprometido com a eficiência das condições de uso da gota d’água disponível e a viabilidade econômica da sua atividade.

- Sob as condições de clima tropical úmido – média pluviométrica entre 800 mm/ano a mais de 3.000 mm/ano e temperatura média do ar acima de 20°C durante, praticamente, todo o ano – os processos químicos de alteração das rochas são predominantes e intensos. Como corolário, tem-se um manto de rochas alteradas com espessuras de até 150 metros (média de 50 m). Neste manto, as características de porosidade/permeabilidade dominantes são do tipo intersticial, sendo  $S_y = 5\text{--}15\%$  e  $K = 10^{-4}$  a  $10^{-5}$  m/s no contato com a rocha sã e evoluem para o tipo fissural até profundidades de 250 metros, principalmente (Rebouças, 1988, Cavalcante e Rebouças, 1990).

Por sua vez, os rios que drenam este domínio são permanentes, significando que as taxas de infiltração no manto de alteração, principalmente, são suficientemente importantes para alimentar o escoamento durante os períodos sem chuvas, principalmente. A relação entre escoamento básico dos rios e suas descargas totais varia entre 60 e 70%.

Finalmente, tem-se a província cárstica, a qual corresponde aos domínios geológicos de ocorrência das rochas calcárias, cujas características de porosidade/permeabilidade intersticial ou fissural, foram, local e ocasionalmente, ampliadas por processos de dissolução da rocha pela água meteórica que infiltra.

## RESERVAS E CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS NO BRASIL

Os dados da Tabela 1 indicam que o volume de água subterrânea doce no Brasil é da ordem de 112.000 km<sup>3</sup>, sendo que cerca de 90% deste total estão nas bacias sedimentares. Nos 600.000 km<sup>2</sup> do domínio semi-árido de rochas de idade Pré-cambriana do Nordeste, principalmente, a reserva é de apenas 80 km<sup>3</sup>, enquanto atinge-se 10.000 km<sup>3</sup> nos quase 4.000.000 km<sup>2</sup> de rochas cristalinas e metamórficas do embasamento Pré-cambriano coberto por um manto de rochas alteradas de espessura média de 50 metros (Rebouças, 1978 e 1988).

Por sua vez, as vazões mais freqüentes obtidas pelos poços já perfurados variam entre menos de um m<sup>3</sup>/h nas zonas aquíferas das rochas fraturadas praticamente impermeáveis do embasamento geológico de idade Pré-cambriana do Nordeste semi-árido, até mais de mil m<sup>3</sup>/h nas bacias sedimentares. A produção dos poços, referida em termos de capacidade específica [(m<sup>3</sup>/h).m<sup>-1</sup>], ou seja, a vazão (m<sup>3</sup>/h) que é obtida de cada poço por metro de rebaixamento (m<sup>-1</sup>) do respectivo nível d’água é muito variada (Figura 2).

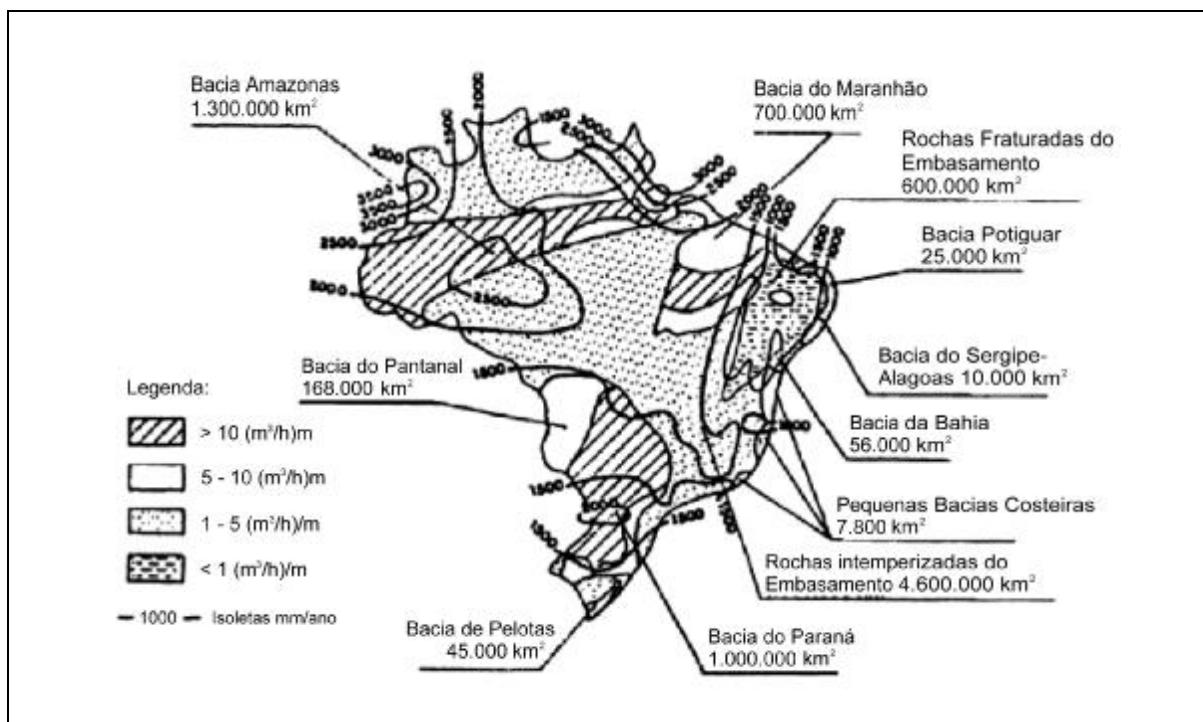


Figura 2. Capacidades específicas dos poços no Brasil (Rebouças, 1978, 1988 e 1999).

Nos domínios hidrogeológicos mais promissores, a capacidade específica dos poços varia entre 5 e 10, sendo superiores a  $10 \text{ m}^3/\text{h.m}^{-1}$  em setores das bacias sedimentares. Portanto, a produção de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  por poço, durante 16 horas por dia, seria suficiente para proporcionar cerca de 200 L/dia per capita a uma população de 8000 habitantes. Vale salientar que 71% das cidades do Brasil têm população inferior a 10.000 (IBGE, 1991).

Nos contextos de rochas cristalinas com espesso manto de alteração, a capacidade específica varia entre 1 e  $5 \text{ m}^3/\text{h.m}^{-1}$ , ou seja, as vazões médias explotáveis com 20 metros de rebaixamento do NA do respectivo poço, durante 16 horas/dia de bombeamento, seriam suficientes para abastecer contingentes médios de cerca de 5000 habitantes. Vale ressaltar que 51% das cidades brasileiras têm população inferior a 5000 habitantes (IBGE, 1991).

Apenas no domínio de rochas cristalinas do Nordeste semi-árido, as capacidades específicas são inferiores a  $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^{-1}$ . Todavia, a produção de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , com rebaixamento do nível d'água no poço (NE) de 20 metros e operando 16 horas por dia, daria para abastecer contingentes de até 1500 pessoas com uma taxa *per capita* da ordem de 100 L/dia, ou seja, 20% das nossas cidades (IBGE, 1991). Lamentavelmente, a maior parte das dezenas de milhares de poços já perfurados no Nordeste semi-árido não recebem sequer bombas ou outros equipamentos de extração de água. Como corolário, tem-se a dependência do “caminhão pipa” que mata a sede do homem do campo a cada novo período de chuvas irregulares ou de seca (Rebouças, 1997).

A barragem subterrânea é uma forma viável de uso e conservação da água que flui pelas manchas aluviais do Nordeste semi-árido. Desta forma, a água das aluviões dos rios, praticamente secos é protegida contra os processos de salinização do binômio solo/água pelo processo de evaporação intensa que ocorre na região.

O “enrocamento superficial do tipo arco romano invertido” é outra forma especial de barragem, o qual se destina a reter os sedimentos que são trazidos pelos rios e o fluxo das águas nos seus alvóculos.

Entretanto, este tipo de captação tem uma aplicação restrita aos setores onde ocorre relativa produção de sedimentos transportados pelas águas de escoamento superficial, tais como nascentes de rios situadas nas encostas arenosas. Contudo, tal como um “garrote” que se aplica num braço ou perna para controlar uma hemorragia, a barragem subterrânea precisa ser operada para se evitar a degradação da qualidade do binômio solo/água, tanto por excesso de acumulação no setor de montante, quanto por deficiência de drenagem à jusante.

## DO POÇO AO SISTEMA DE FLUXOS SUBTERRÂNEOS

Os estudos hidrogeológicos tradicionais limitam-se, regra geral, à análise estatística de dados relativos às profundidades dos poços, níveis de água, vazões, qualidade das águas extraídas e descrição generalizada das formas de

**Tabela 1. Reservas de água subterrânea no Brasil e intervalos mais freqüentes das vazões dos poços.**

| Domínio Aqüífero                   | Área (km <sup>2</sup> ) | Sistema Aqüífero Principal   | Reservas (km <sup>3</sup> ) | Interv. Vazão Poço (m <sup>3</sup> /h) |
|------------------------------------|-------------------------|--|-----------------------------|--|
| Substrato aflorante                | 600.000                 | Zonas fraturadas (PE)  | 80                          | <1-5                                   |
| Substrato alterado                 | 4.000.000               | Manto rocha alterada e/ou fraturas (PE)  | 10.000                      | 5 – 10                                 |
| Bacia Sed. Amazonas                | 1.300.000               | G. Barreiras (TQb)<br>F. Alter do Chão. (Kac)  | 32.500                      | 10 – 400                               |
| Bacia Sed. São Luis-Barreirinhas   | 50.000                  | F. São Luis (TQsl)<br>F. Itapecuru (Ki)  | 250                         | 10 – 150                               |
| Bacia Sed. Maranhão                | 700.000                 | F. Itapecuru (Ki)<br>F. Cordas-Grajaú (Jc)<br>F. Motuca (PTRm)<br>F. Poti-Piauí (Cpi)<br>F. Cabeças (Dc)<br>F. Serra Grande (Sdsg) | 17.500                      | 10 – 1000                              |
| Bacia Sed. Potiguar-Recife         | 23.000                  | G. Barreiras (TQb)<br>F. Calc. Jandaíra (Kj)<br>F. Açu-Beberibe (Ka)   | 230                         | 5 – 550                                |
| Bacia Sed. AL/SE                   | 10.000                  | G. Barreiras (TQb)<br>F. Marituba (Km)   | 100                         | 10 - 350                               |
| Bacia Sed. Jatobá-Tucano-Recôncavo | 56.000                  | F. Marizal (Kmz)<br>F. S. Sebastião (Kss)<br>F. Tacaratu (SDt)   | 840                         | 10 - 500                               |
| Bacia Sed. Paraná (Brasil)         | 1.000.000               | G. Baurú-Caiuá (Kb)<br>F. Serra Geral (Jksg)<br>F. Botucatu-Piramboia-Rio do Rasto (Pr/TRp/Jb)<br>F. Furnas/Aquidauana (D/PCa)     | 50.400                      | 10 - 700                               |
| Depósitos Diversos                 | 773.000                 | Aluviões, dunas (Q)  | 411                         | 2 - 40                                 |
| <b>Total</b>                       | <b>8.512.000</b>        |  | <b>≈ 112.000</b>            |  |

Fonte: Rebouças, 1988 e 1999. Idade geológica dominante, por exemplo (PE) – Pré-cambriana, (SDt) - Siluriano/Devoniano – F. Tacaratu, (Cpi) – Carbonífero – F. Poti-Piauí, (Pr/TRp/Jb) – Permiano – F. Rio do Rasto/Triássico – F. Pirambóia/Jurássico – F. Botucatu, (Kss) Cretáceo – F. São Sebastião, (TQb) – Terciário/Quaternário – G. Barreiras.

ocorrência da água subterrânea, mesmo quando se ressalta, preliminarmente, a pouca consistência técnica ou científica destas informações. Nesta forma de abordagem, importância fundamental tem sido dada ao conceito do “Safe Yield”, ou seja, a extração de água subterrânea num volume equivalente as taxas de recarga natural dos aquíferos da área em apreço (Meinzer, 1923).

Por sua vez, muita energia é, regra geral, dedicada à clássica discussão sobre a falta de concordância entre os limites físicos das bacias hidrográficas e geológicas. Esquecem os praticantes desta discussão que o sistema de fluxos subterrâneos delinea células de fluxo, as quais são determinadas pela compartimentação hidrográfica. Por outro lado, ressaltam-se os diagnósticos de “overexploitation, overextraction, overuse” ou de superexploração embasados no rebaixamento acentuado de nível d’água de poços. Entretan-

to, os conhecimentos atuais indicam que, na maioria dos casos, estes cenários resultam, regra geral, da falta de um gerenciamento adequado das grandes interferências entre poços mal distribuídos no manancial subterrâneo ou mal construídos. Por sua vez, a extração da água dos aquíferos costuma induzir maiores taxas recarga e transferências de fluxos entre os sistemas aquíferos vizinhos, de tal forma que a gestão e as formas de uso e ocupação do meio em questão acabam alterando o quadro de fluxos que predominava na fase de pré-desenvolvimento. Entretanto, constata-se que o usuário só toma conhecimento do rebaixamento de nível ou do processo de esgotamento do aquífero quando os custos de energia de bombeamento ou de produção da água ameaçam pôr em risco a viabilidade econômica da atividade agrícola, principalmente.

A experiência atual nos países mais desenvolvidos, principalmente, mostra que é preciso evoluir da análise do poço ou outro dado pontual, à caracterização do modelo hidrogeológico conceitual e compreensão dos sistemas de fluxos subterrâneos que ocorrem na área em apreço, natural ou induzido pelas formas de extração e uso da água subterrânea (IAHS, 1986). Neste quadro, a aplicação de modelos numéricos do tipo RASA – Regional Aquifer-System Analysis, mostra que o uso intensivo dos aquíferos poderá engendrar uma maior dinâmica das interações entre sistemas aquíferos vizinhos, ampliação das zonas de recarga natural ou induzida, alteração das zonas de descarga e dos processos hidrogeológicos e geoquímicos de autodepuração, aleatórios ou determinísticos. Desta forma, o uso racional da água subterrânea de uma bacia hidrográfica já não pode ser definido com base no simples balanço entre taxas de recarga dos aquíferos e demandas.

Verifica-se, por exemplo, que na fase de pré-desenvolvimento no San Joaquim Valley (CA) que a recarga natural dos aquíferos era de  $78 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto a extração atual de água dos poços atinge  $466 \text{ m}^3/\text{s}$ . As alterações engendradas nos sistemas de fluxos subterrâneos pelas práticas de recarga artificial com águas de enchentes dos rios ou de reuso, controle da interface marinha, redução das descargas diretas dos fluxos subterrâneos nos rios e oceano ou nas áreas encharcadas, indução de recargas pelas formas de uso e maior dinâmica das interações entre aquíferos, estão entre as principais fontes das águas que são extraídas pelos poços produtores (Johnston, 1997).

Assim, quando o rebaixamento do nível d'água de poços faz desaparecer áreas encharcadas e reduz, por exemplo, os mosquitos e outros vetores, só a avaliação sistêmica da unidade hidrográfica em questão poderá dizer se está havendo uso inadequado ou intensivo das suas águas, em geral, e das águas subterrâneas, em particular.

Por sua vez, os custos internacionais de captação da água subterrânea são de 88 dólares por mil  $\text{m}^3$ , contra 123-246 dólares da captação de água num rio, por exemplo. Desta forma, comparativamente aos custos financeiros e ambientais crescentes da captação das águas nos rios e, sobretudo, da transposição de águas de bacias hidrográficas, a experiência internacional mostra que a alternativa de utilização das águas subterrâneas é, regra geral, a mais barata. Por outro lado, o uso cada vez mais eficiente da gota d'água disponível, atual, é uma experiência de sucesso comprovado da possibilidade de se atender demandas futuras na maioria dos países desenvolvidos, principalmente (Gleik, 1993).

Além disso, os sistemas de fluxos da água no subsolo da bacia hidrográfica em apreço poderão abranger dimensões locais, intermediárias ou regionais, nas quais os tempos de trânsito da água poderão compreender, respectivamente, dias, anos, séculos ou milênios (Figura 3).

Vale salientar, ainda, que na abordagem de gestão integrada da gota d'água disponível numa UGRHI – Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Integrado – os sistemas aquíferos poderão desempenhar variadas funções, tais como: de produção, de estocagem de água protegida dos

agentes de poluição e dos processos de evaporação intensa, principalmente, de autodepuração, fornecimento cada vez mais eficiente e mais barato da água necessária ao desenvolvimento sustentado de atividades sócio-econômicas na área em apreço (Rebouças, 1978, 1999).

Assim, a consideração dos sistemas de fluxos subterrâneos mostra que não é possível relacionar dados de níveis de água ou de qualidade, por exemplo, oriundos de uma rede de poços de diferentes profundidades e características construtivas e operacionais. Basta lembrar que, regra geral, os poços rasos captam água do sistema de fluxo local, enquanto os profundos extraem água dos sistemas de fluxos intermediários ou regionais.

## PECULIARIDADES HIDROGEOLÓGICAS NO BRASIL

A água subterrânea no Brasil é, regra geral, muito mal distribuída, à medida que nas bacias sedimentares, cuja extensão total é da ordem de 50% do território tem-se mais de 90% do volume total. Na outra metade do território, têm-se rochas cristalinas e metamórficas cobertas por um manto de intemperismo e com zonas fraturadas aquíferas, onde o volume de água subterrânea estocado é de menos de 10% do total.

Por sua vez, tem-se que a grande irregularidade de chuvas, escassez ou abundância de água em região onde mora pouca gente ou onde o interesse econômico ou político não é muito grande, não passa de um fenômeno físico. Por sua vez, abundância ou escassez, muitas vezes, independe do clima local. Por exemplo, no Centro Oeste dos Estados Unidos cujas bacias hidrográficas ficam, em grande parte, em domínios de clima desértico ou árido, tem-se que as enchentes mais violentas dos rios são engendradas na primavera-verão, à medida que ocorre a fusão da neve que fora acumulada nas suas montanhas durante o inverno. Neste quadro, portanto, os fluxos dos rios descem por gravidade e podem infiltrar nos terrenos de porosidade/permeabilidade intersticial e fissural elevada, engendrada pelos processos geotectônicos formadores das Montanhas Rochosas no Período Terciário, principalmente.

Assim, têm-se condições hidrogeológicas favoráveis à produção, recarga artificial ou induzida dos seus aquíferos, para guardar água subterrânea protegida dos processos de evaporação intensa. Por sua vez, o arcabouço cultural da população nativa ou de imigrantes foi princípio ao desenvolvimento do gerenciamento das águas, para atendimento das demandas das atividades sócio-econômicas localizadas, regra geral, nas zonas desérticas ou áridas das partes mais baixas das respectivas bacias hidrográficas. Nestes domínios, tem-se o desenvolvimento de atividades de recarga artificial de aquíferos, onde se destacam os métodos do tipo ASR – Aquifer Storage Recovery, ou seja, de injeção alternada em poços de produção (Pyne, 1995, Detay, 1997).

Estas situações são bem distintas daquelas encontradas no Brasil, em geral, e no Nordeste semi-árido, por exemplo. Primeiro, tem-se que as precipitações, no Brasil,

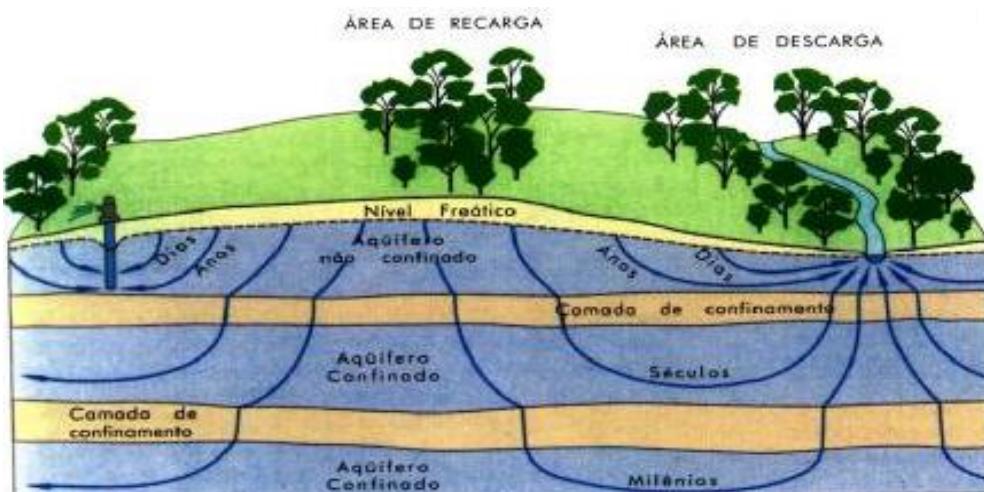


Figura 3. Do poço ao sistema de fluxos subterrâneos (Adaptado do Programa de Águas Subterrâneas, MMA, 2001).

ocorrem, quase que exclusivamente, na forma de chuva. Por sua vez, sobre 50% do seu contexto de clima semi-árido as rochas cristalinas de idade Pré-cambriana e praticamente impermeáveis, não oferecem condições favoráveis à estocagem de água no subsolo. Por sua vez, o arcabouço cultural da população nativa de catadores de alimentos e da população de imigrantes, extrativistas, principalmente, não foram favoráveis ao desenvolvimento de atividades de uso cada vez mais eficiente da gota d'água disponível.

Além disso, a visão de rios que nunca secam induziu, certamente, na população a idéia de abundância de água que teve como corolário os grandes desperdícios e a degradação da qualidade em níveis nunca imaginados. Não se fala aqui de “vontade política”, esta figura idílica quase sempre brandida num contraponto à realidade dos fatos. Apenas fica evidente a tendência histórica do exercício irrealista da “bondade” social dos políticos e outros responsáveis.

Além disso, a escassez periódica de chuvas no Brasil, em geral, e no Nordeste semi-árido, em particular, vem sendo, sensivelmente, agravada pelas transformações demográficas que ocorrem, sobretudo, desde a última metade do século passado, principalmente. Como corolário, houve crescimento desordenado das demandas de água nas cidades, onde já vivem e moram mais de 80% da população brasileira (IBGE, 2000). Além disso, os desperdícios dos usos – doméstico e agrícola, principalmente – são crescentes, a degradação da qualidade atinge níveis nunca imaginados e omite-se, geralmente, que a extração de apenas 25% das taxas de recarga anual da água subterrânea ( $3.144 \text{ km}^3/\text{ano}$ ), acessíveis aos meios técnicos e econômicos disponíveis, desde 1970 pelo menos, já representaria uma oferta da ordem de  $4.000 \text{ m}^3/\text{ano}$  per capita.

No Brasil, a extração de água subterrânea, regra geral, vem sendo feita para abastecimento humano e animal, principalmente, desde os Primórdios do Período Colonial (1500-1822). Entretanto, esta sempre foi feita sem controle, tanto federal quanto estaduais, de tal forma que se tem, apenas, evidências locais e ocasionais do seu uso intensivo.

Dentre estas evidências, destaca-se a evolução gradativa da composição das águas dos poços jorrantes do Piauí. Da mesma forma, observa-se, na bacia Potiguar, a influência das infiltrações que são induzidas pelo bombeamento do aquífero Açu, através dos níveis confinantes ou dos espaços anelares dos poços de Mossoró – RN (Rebouças, 1973 e 1999). Assim, à medida que a descompressão no aquífero Açu progride, sob o efeito do bombeamento que se realiza na cidade de Mossoró, principalmente, desenvolve-se a “drenança” de água bicarbonatada do Calcário Jandaíra, seja através da camada confinante (membro Açu Superior), seja pelos espaços anelares dos poços que, regra geral, não receberam uma cimentação de isolamento adequada.

Vale salientar que a degradação da qualidade das águas extraídas pelos poços da região metropolitana do Recife, Maceió e outras áreas litorâneas importantes pode ser atribuída à falta de revestimento ou cimentação adequada dos poços produtores, os quais atravessam sedimentos de mangue e aquíferos rasos seriamente afetados pela falta de saneamento básico nas cidades (Rebouças, 2001).

Na bacia geológica sedimentar do Paraná, o pacote de basalto da Formação Serra Geral é um meio praticamente impermeável regional que confina o Sistema Aquífero Guarani, principalmente. Porém, local e ocasionalmente, tem-se poços muito produtores nos basaltos, os quais extraem água subterrânea de suas zonas aquíferas, tais como descontinuidades e arenitos inter-derrames, zonas de

fraturas de resfriamento dos basaltos ou associadas à compartimentação tectônica regional. Além disso, os potenciais hidráulicos naturais ou induzidos favorecem o desenvolvimento de fluxos descendentes nos setores confinados, principalmente, onde as cotas topográficas são superiores aos 500 m, e fluxos ascendentes nos setores com cotas topográficas inferiores a 500 metros. Nestes setores tem-se, com relativa freqüência, fontes de águas quentes ou exudações com características hidroquímicas daquelas que ocorrem nos aquíferos profundos, em particular com altos teores de fluoretos (Rebouças, 1976, Fraga, 1992).

Portanto, torna-se necessário realizar uma criteriosa amostragem e coleta de dados hidrogeológicos, tais como perfis geológicos, medidas de níveis e de vazões dos poços. Não é possível misturar dados de poços rasos, cujas águas provêm, regra geral, de um sistema de fluxo local, com dados de poços profundos que captam sistemas de fluxos intermediários ou regionais, cujas características químicas refletem os diferentes níveis de solubilidade dos ânions sulfato e cloreto, principalmente.

Por sua vez, como a água subterrânea que circula através do meio poroso ou fissural tem velocidades muito baixas (cm/dia), significa que o seu monitoramento – quantidade ou qualidade – não necessita ser realizado em tempo real, tal como ocorre no caso dos rios e outros corpos d'água superficiais.

## POTENCIAIS E USOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO BRASIL

A descarga total média dos rios que drenam o território brasileiro ( $182.633 \text{ m}^3/\text{s}$ ) corresponde a uma oferta de água doce da ordem de  $33.840 \text{ m}^3/\text{ano}$  per capita (ANA, 2002). Por sua vez, o escoamento básico dos rios temporários representa lâminas médias infiltradas que variam entre  $11 \text{ mm/ano}$  e  $44 \text{ mm/ano}$  nas bacias hidrográficas esculpidas no contexto de rochas praticamente impermeáveis e subaflorantes do semi-árido do Nordeste. Vale ressaltar que nos cerca de 50% da área do Nordeste ( $1.663.320 \text{ km}^2$ ) nos terrenos sedimentares e permeáveis os rios, regra geral, nunca secam e as taxas de recarga dos seus aquíferos atingem  $199 \text{ mm/ano}$  (Rebouças, 1997).

Em termos globais, portanto, tem-se que a recarga das águas subterrâneas na região Nordeste é da ordem de 58 bilhões  $\text{m}^3/\text{ano}$  e no Brasil de rios perenes atinge-se 3.086 bilhões  $\text{m}^3/\text{ano}$ . Portanto, a utilização de apenas 25% do valor total das recargas das águas subterrâneas ( $3.144 \text{ bilhões m}^3/\text{ano}$ ), já representaria uma oferta de água limpa de beber da ordem de  $4.623 \text{ m}^3/\text{ano}$  per capita.

Numa metade da área do Nordeste semi-árido as rochas cristalinas praticamente impermeáveis são, praticamente, subaflorantes. Neste contexto, as maiores possibilidades hidrogeológicas ficam restritas às zonas de rochas fraturadas aquíferas e às manchas aluviais que se desenvolvem ao longo dos rios principais. Estima-se em 30.000 o número de poços já perfurados neste setor e a capacidade específica é, em média, inferior a  $1 \text{ m}^3/\text{h.m}$ . Considerando

que a produção por poço de apenas  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  seria suficiente para abastecer cerca de 1.500 pessoas, a operação de apenas 1/3 deste total já daria para abastecer uma população de 15 milhões de habitantes. Na outra metade do Nordeste, as rochas são sedimentares e permeáveis, de tal forma que os rios que drenam estes setores nunca secam. O número total de poços já perfurados é estimado em 10.000 e a capacidade específica mais freqüente é de  $5 \text{ m}^3/\text{h.m}$  (Rebouças, 2001). Neste caso, seria possível abastecer por poço populações de 40.000 habitantes.

Nos cerca de 90% do território nacional, onde os terrenos são sedimentares, de cobertura ou cristalinos com espessa cobertura de rochas alteradas, a pluviometria varia entre perto de 1000 e mais de 3000 mm/ano. Como corolários, todos os rios que drenam estes terrenos nunca secam, significando que a contribuição dos fluxos subterrâneos é suficientemente importante para alimentar suas descargas durante todo o período sem chuvas. O escoamento básico dos rios desta área representa lâminas d'água que variam entre 100 e 600 mm/ano (Rebouças, 1999).

No Estado de São Paulo, verifica-se que perto de 72% das cidades são abastecidas por meio de poços, segundo a tendência mundial (CETESB, 1998). Além disso, em todas as regiões metropolitanas do Brasil, poços privados vêm sendo utilizados para abastecimento de indústrias, hotéis de luxo, condomínios e outros usuários. Esta prática visa, fundamentalmente, evitar os prejuízos engendrados pelos freqüentes racionamentos, rodízios e outras formas de fornecimento irregular da água pelos serviços públicos. Além disso, os valores dos investimentos realizados são amortizados, regra geral, entre um terço e metade da vida útil das captações (Rebouças, 1994 e 2001).

Entretanto, a idéia de abundância de água nos rios no Brasil parece que manipula e tolera a baixa eficiência dos serviços de abastecimento nas cidades e ao fato de em 95% da área de três milhões de hectares irrigados, atualmente, se utilizar os métodos menos eficientes e altamente dependentes do fornecimento de energia elétrica, tais como o escoamento superficial, aspersão convencional e pivô central.

Além disso, tem-se o pequeno conhecimento sobre as águas subterrâneas e predominam as formas de extração empírica e improvisada, confundindo-se, com freqüência, um buraco de onde se extrai água com um poço que é construído, operado e abandonado segundo especificações técnicas de engenharia geológica, hidráulica e sanitária.

## ARCABOUÇO LEGAL E INSTITUCIONAL

Os cacimbões localizados nos monumentos e cidades históricas são uma prova de que, pelo menos, desde os primórdios do Período Colonial (1500-1822) a água subterrânea era utilizada, no Brasil, de forma empírica e improvisada, principalmente, para abastecimento do consumo humano. Durante o Primeiro Reinado (1822-1831), a Regência Trina (1831-1840) e o Segundo Reinado (1840-1889) sua utilização dependia de autorização central. Durante a Primeira República (1889-1930) o uso da água

subterrânea ficou sem controle, tanto Federal quanto Estaduais. No Estado Getulista (1930–1945) foi promulgada a Lei de Direito de Água no Brasil, o *Código de Águas*, de 10 de julho de 1934, compreendendo os Livros I, II e III. Apesar de ter quase 70 anos, o Código de Águas de 1934 ainda é considerado, pela Doutrina Jurídica, como um dos textos modelares do Direito Positivo Brasileiro. Entretanto, apenas o seu livro III, referente à produção hidrelétrica, foi regulamentado.

A Constituição Federal de 1988 modificou, em vários aspectos, o texto do *Código de Águas*, de 1934. Uma das alterações feitas foi à extinção do domínio privado da água subterrânea previsto no Título IV – Águas Subterrâneas – Capítulo Único, Art. 96. “*O dono de qualquer terreno poderá apropriar-se por meio de poços, galerias, etc., das águas que existam debaixo da superfície de seu prédio, contanto que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares. Parágrafo único. Se o aproveitamento das águas subterrâneas de que trata este artigo prejudicar ou diminuir as águas públicas dominicais ou públicas de uso comum ou particulares, a administração competente poderá suspender as ditas obras e aproveitamentos*”. Entretanto, os aspectos relevantes de uso e conservação, atuais, da água subterrânea também já eram previstos nos Art. 97 a 101 do Código de Águas de 1934.

Portanto, a partir de outubro de 1988, todas as águas do Brasil passaram a ser do domínio público. Neste ponto, cabe frisar que, sendo as águas do Brasil do domínio público, deve-se entender que cada indivíduo já não pode fazer o que bem entende com a gota d’água disponível. Uma outra modificação que a Carta Magna de 1988 introduziu, foi o estabelecimento de apenas dois domínios para os corpos d’água no Brasil: *i) o domínio da União, para os rios ou lagos que banhem mais de uma unidade federada, ou que sirvam de fronteira entre essas unidades, ou entre o território do Brasil e o de país vizinho ou destes provenham ou para o mesmo se estendam; e ii) o domínio dos Estados, para as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, as decorrentes de obras da União*. Essa definição não desobriga, certamente, o processo como um todo, de tal forma que se deve considerar, inicialmente, a real indissociabilidade das águas no ciclo hidrológico.

Por sua vez, a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentou o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal de 1988, e alterou o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

É importante ressaltar que o texto desta lei proclama os princípios básicos praticados, atualmente, em quase todos os países que avançaram na gestão de recursos hídricos, tais como: i) a adoção da *bacia hidrográfica como unidade de planejamento*; ii) *usos múltiplos da água*, acabando com a tradicional assimetria de tratamento conferida pelo poder central ao setor hidrelétrico; iii) reconhecimento do *valor econômico da água*, fortemente indutor de seu uso racional e base para instituição da cobrança pela sua utilização; iv)

*gestão descentralizada e participativa*; v) finalmente, estabelece que, *em situação de escassez a prioridade deve ser dada ao abastecimento humano e animal*.

Ressalte-se que a Lei nº 9.433/97 estabeleceu novos tipos de organização para a gestão compartilhada do uso da água, tais como: i) *Conselho Nacional de Recursos Hídricos*, órgão mais elevado na hierarquia do Sistema Nacional de Recursos Hídricos em termos administrativos, destacando-se a sua Resolução 15, referente às águas subterrâneas; ii) *Comitê de bacia hidrográfica*, tipo de fórum de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica, unidade física de planejamento, formado por representantes dos setores que atuam na área em questão – usuários, prefeituras, sociedade civil organizada, governos estadual e federal; iii) *Agências de Água*, destinadas a gerir os recursos oriundos da cobrança pelo uso da água. Finalmente, a Lei nº 9.984, 17 de julho de 2000, criou a Agência Nacional de Águas – ANA, para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos cuja formulação ficará a cargo da Secretaria Nacional de Recursos Hídricos – SRH, do Ministério do Meio Ambiente – MMA.

O órgão técnico do sistema deverá ser, por sua vez, a *Agência de Bacia*, já prevista na lei que instituiu o Sistema Federal ou Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Vale destacar que a abordagem integrada e sistêmica é subentendida na Lei Federal nº 9.433/97. Como corolário, o *Comitê de Bacia* passa a ter algumas funções também relacionadas ao uso e ocupação do solo e aprovar, previamente ao envio à Assembléia Legislativa de cada Estado, o chamado PDPA – Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia, que é um documento norteador da ação pública estadual e municipal no território.

Neste quadro, todavia, embora a Lei 9.433/97 fale de gestão integrada da bacia hidrográfica, as ações até agora implantadas têm contemplado, tão somente, as águas que fluem pelos rios, as acumuladas nos açudes e nos pantanais, por exemplo.

A Lei 9.433/97 refere-se às águas subterrâneas apenas na Seção III – Da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, Art. 12. “*Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: Item II – extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo*”. Novamente, volta-se a falar de recursos hídricos subterrâneos no Título III – Das Infrações e Penalidades – Art. 49. “*Constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos: Item II – iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes; V – perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização*”.

Portanto, falta uma legislação que considere os aspectos específicos de ocorrência, usos e conservação das águas subterrâneas. Da mesma forma, falta uma legislação específica que estabeleça os princípios a serem observados para captação das águas de chuva e de reuso das águas pluviais ou tratadas e injetadas no subsolo em cada uma das UGRHI, por exemplo.

Torna-se evidente, todavia, que o arcabouço legal e institucional apresentado significa um grande desafio à sociedade brasileira, incluindo seu meio técnico, habituado a omitir as águas subterrâneas, seja como fator de perenização dos rios, seja como a alternativa mais barata de abastecimento humano, principalmente. Ao contrário, prevalece a idéia, historicamente estabelecida, de que a construção de obras de captação cada vez mais distantes da água dos rios, bem como a realização do seu tratamento, cada vez mais complexo e caro é a única solução aos problemas de escassez local e ocasional de água no Brasil.

Entretanto, já é evidente que todas as bacias hidrográficas – unidades físicas de planejamento – não podem ser regidas por uma legislação única que, por natureza, não dá conta da complexidade de cada sistema em particular. Assim, cada bacia deverá ter uma lei específica de gerenciamento, contemplando as suas diferentes fontes possíveis d'água, os aspectos relevantes de uso e conservação, e a manutenção de um ambiente ecológico equilibrado.

Por sua vez, foi incorporado ao vocabulário cotidiano do tomador de decisões, do legislador e do cidadão em geral, palavras antes distantes, como captação, uso e conservação da água superficial ou subterrânea, qualidade ambiental, bacia hidrográfica, gestão sistêmica, oferta d'água pelo menor custo, uso cada vez mais eficiente da gota d'água disponível, lançamento de esgoto doméstico tratado nos rios e outros corpos d'água superficiais, reuso de água e privatização de serviços públicos de abastecimento. Desta forma, a cobrança pelo uso da água – usuário/poluidor pagador – deverá ser visto como um instrumento de gestão, essencial para criar as condições de equilíbrio entre as forças da oferta (disponibilidade) e da demanda, promovendo, em consequência, um uso cada vez mais eficiente da gota d'água disponível.

Na prática, todas as formas de racionamento atual engendram uma perspectiva preocupante, mesmo no Brasil, país que ostenta as maiores descargas de água doce do mundo nos seus rios, que é da falta d'água limpa de beber. Portanto, é natural que nos palanques, eventos, plenários do Congresso Nacional e das Assembléias Legislativas Estaduais corram projetos que tratam do tema, procurando antecipar-se, um ao outro, para tutelar os recursos hídricos. Por sua vez, embora possa haver mais confusões do que os olhos podem ver, os debates acalorados sobre a cobrança pelo uso da água subterrânea, por exemplo, podem trazer soluções aos problemas atuais de abastecimento da população.

Neste quadro, felizmente, grande parte das discussões relativas à definição de domínios – federal ou estaduais – das águas subterrâneas é resultante da disputa por legislar sobre o assunto, e não por eximir-se da responsabilidade. Porém, todas as idéias, opiniões, discursos e sugestões valem pouco sem passar pelo processo de formalização legal.

## CONCLUSÕES

A inserção da água subterrânea, recurso invisível, no sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos é um desafio à sociedade, em geral, e até ao meio técnico, em

particular, à medida que se acostumaram à idéia de abundância de água que é proporcionada pela visão de rios que nunca secam sobre mais de 90% do território nacional.

Vale salientar, todavia, que seja qual for à tecnologia de se produzir água limpa de beber, a utilização das águas subterrâneas continua sendo a alternativa mais barata de abastecimento do consumo humano, principalmente, inclusive do ponto de vista ecológico. Entretanto, omite-se o conceito de “substituição de fontes” preconizado pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, desde de 1986, segundo o qual, “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

Assim, não se leva em consideração à prioridade que deveria ser dada ao uso da água subterrânea para abastecimento humano, por exemplo. Ao contrário, procura-se utilizá-la como uma solução provisória, enquanto busca-se um novo manancial de superfície para extração predatória e condená-lo a ser definitivamente um depósito de lixo. Enfim, os problemas de uso e conservação da gota d'água disponível no Brasil são do tamanho da sua importância para o País e para o Mundo. Regra geral, estes problemas exigem uma prática de gestão integrada da gota d'água disponível e do seu uso ser cada vez mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

- ANA (2002). Agência Nacional de Águas, *A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil* – 64 p. Brasília.
- BERNER, E. K., BERNER, R. A. (1987). *The Global Water Cycle – Geochemistry and Environment*. Prentice Hall.
- CAVALCANTE, I. N. e REBOUÇAS, A. da C. (1990). Caracterização hidrogeológica de terrenos cristalinos com manto de alteração. *Rev. ABAS – Águas Subterrâneas* (13): 9-20.
- CETESB (1998). Cia Estadual de Tecnologia Saneamento Básico e Ambiental, Estado de São Paulo, *Relatório sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*, 72 p.
- DETAY, M. (1997). *La gestion active des aquifères*. 411 p. L'Institut des Eaux/Masson, Paris.
- DNPM/CPRM (1983). Depto. Nacional de Produção Mineral/Cia Pesq. Recursos Minerais, *Provincias Hidrogeológicas do Brasil*.
- FRAGA, C. G. (1992). *Origem do fluoreto nas águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral na Bacia do Paraná*. Tese Doutorado, Instituto Geociências, Universidade de São Paulo, 178 p.
- GLEIK, P. H. (1993). *Water in crisis – A guide to the world's fresh water resources*. Oxford, Oxford Press, 476 p.
- IAHS (1986). Int'l. Association of Hydrological Sciences, *Developments in the analysis of groundwater flow systems*, by Engelen, G. B. And Jones, G. P. Pub. 163, 201 p.
- IBGE (1991). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Sinopse do Censo Demográfico*. 94 p. Rio de Janeiro.
- IBGE (2000). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Censo Demográfico*, home page.
- JOHNSTON, R. J. (1997). Sources of water supplying pumpage from regional aquifer systems of United States. *Hydrogeology Journal*, vol. 5 no 2, pp. 54-63.

- LOVELOCK, J. (1991). *Healing Gaia*. New York, Harmony Books, 740 p.
- MEINZER, O. E. (1923). *The Occurrence of Ground Water in the United States*. US Geological Survey – Water Supply Paper 489, 321 p.
- MMA/SRH (2001) *Programa de Águas Subterrâneas*, 21 p.
- PYNE, R. D. G. (1995). *Groundwater recharge and wells. A guide to aquifer storage recovery*. Lewis Pub. 376 p.
- REBOUÇAS, A. da C. (1973). *Le problème de l'eau dans la zone semi-aride du Brésil – Évaluation des ressources, orientation pour la mise en valeur*. Strasbourg, Thèse Doctorat d'État, Université de Strasbourg, France, 285 p.
- REBOUÇAS, A. da C. (1976). *Os potenciais de água subterrânea na bacia do Paraná – Análise de Pré-Viabilidade*, Tese livre docência, Inst. Geociências, Universidade de São Paulo, 147 p.
- REBOUÇAS, A. da C. (1978). *Ação programada de recursos hídricos – Águas subterrâneas*. Pub. Esp. SEPLAN/CNPq, pp. 105-129, Brasília.
- REBOUÇAS, A. da C. (1988). *Ground Water in Brazil. Episodes*, vol 11, Nº 3, pp. 209-214.
- REBOUÇAS, A. da C. (1994). Gestão Sustentável de Grandes Aquíferos. *Anais 8º Cong. Brás. Águas Subterrâneas – ABAS*, pp. 131-134, Recife.
- REBOUÇAS, A. da C. (1997). Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. *Rev. Instituto de Estudos Avançados – USP*. Vol. 11, Nº 29, pp.127-154. São Paulo.
- REBOUÇAS, A. da C. (1999). Águas Subterrâneas, Cap. 4. p. 117-150, in *Águas doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação* – Reboças, A. C., Braga, B. Tundisi, J. G. (Org. Coord. Científica), 717 p. São Paulo.
- REBOUÇAS, A. da C. (2001). Potencialidades dos Aquíferos do Nordeste do Brasil. *Anais XII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços – IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste*, pp. 53-66, Recife.
- UNESCO/PHI (1998). Programa Hidrológico Internacional, *Recursos d'Água do Mundo*, 45 p.

## ***Insertion of Groundwater in the National Water Resources Management System***

### ***ABSTRACT***

*During the last decades of the 20<sup>th</sup> Century, exhibiting an abundance of water appears to have been the formula to justify the great water waste and water quality degradation at unheard of levels. Therefore, the high cost of the water supply projects and the increasing scarcity of money have resulted in a better evaluation of available water resources. From this point of view, the main goal has been to seek an even more efficient water use and utilize more groundwater to reduce the costs of the water supply projects. Furthermore, groundwater is known to be the main freshwater reservoir of the Earth available through technical and financial means; it is affected only with great delay by rainfall variability and groundwater is the cheapest alternative to supply domestic, industrial and even agricultural water demands.*

*Key Words:* groundwater; freshwater reservoir; management.