

## 1. Águas superficiais

### 1.1. A situação atual

A água é um recurso natural finito que ocorre na natureza nos vários estágios do chamado ciclo hidrológico, destacando-se:

- a) As precipitações atmosféricas;
- b) Os cursos d'água interiores, os que fluem, provém ou são compartilhados entre países ou estados vizinhos;
- c) Os recursos hídricos costeiros, formados pelas águas dos oceanos, em conjunto com os estuários vizinhos;
- d) Os aquíferos, os reservatórios de águas subterrâneas, geleiras e neves eternas.

Figura 1 - Bacias e regiões hidrográficas do Brasil



No Brasil, excetuando-se o semi-árido nordestino, as demais regiões possuem disponibilidades em quantidades suficientes para as atividades industriais, irrigação e para o abastecimento doméstico. Entretanto, a ausência de saneamento e o lançamento de efluentes domésticos e industriais, sem qualquer tratamento, na grande maioria dos corpos d'água, resultam em extensa degradação da qualidade destas águas, definindo um quadro paradoxal de escassez.

Devido à grande extensão territorial do Brasil, ocorrem, simultaneamente, gran-

des variações no regime climatológico e hidrológico. Buscando agrupar regionalmente os comportamentos característicos dos processos envolvidos, podem ser identificadas oito regiões, ou grandes bacias (**Figura 1**). Cabe observar que está em estudo no Ministério do Meio Ambiente (Secretaria de Recursos Hídricos - SRH e Agência Nacional de Águas - ANA), uma redefinição da divisão e da codificação das bacias hidrográficas do país.

Em território brasileiro estima-se que são drenados 257.790 m<sup>3</sup>/s, em termos de descarga média de longo período. Cerca de 92% deste valor estão em seis grandes bacias hidrográficas, com as vazões médias seguintes: Amazonas, 209.000 m<sup>3</sup>/s; Paraná (inclusive Iguaçu), 11.000 m<sup>3</sup>/s; Paraguai, 1.290 m<sup>3</sup>/s; Uruguai, 4.150 m<sup>3</sup>/s; São Francisco, 2.850 m<sup>3</sup>/s.

Cabe ainda destaque, na vertente atlântica, aos rios Parnaíba (800 m<sup>3</sup>/s), Jaguaribe (133 m<sup>3</sup>/s), Mundaú (30 m<sup>3</sup>/s), Paraíba (27 m<sup>3</sup>/s) e Paraguaçu (113 m<sup>3</sup>/s), na região Nordeste; aos rios Doce (1.140 m<sup>3</sup>/s), Paraíba do Sul/Guandu (900 m<sup>3</sup>/s), Ribeira do Iguape (540 m<sup>3</sup>/s), Itajaí (270 m<sup>3</sup>/s) e Guaíba (1.740 m<sup>3</sup>/s) nas regiões Sudeste e Sul.

Na bacia do rio Amazonas encontram-se afluentes volumosos, drenando bacias hidrográficas de baixo nível de ocupação do solo e reduzida utilização econômica da água: Negro (28.400 m<sup>3</sup>/s), Madeira (31.200 m<sup>3</sup>/s), Tapajós (13.500 m<sup>3</sup>/s) e Xingu (9.700 m<sup>3</sup>/s). No **Quadro 1**, estão indicadas as disponibilidades hídricas do País.

Observa-se grande diversidade de situações, com abundância de água nas

regiões Norte e Centro-Oeste e escassez na região Nordeste e em alguns estados desenvolvidos como Rio de Janeiro e São Paulo. Cerca de 89% da potencialidade das águas superficiais do Brasil estão concentradas nas regiões Norte e Centro-Oeste, onde estão abrigados 14,5% dos brasileiros com 9,2% da demanda hídrica do país. Os 11% restantes do potencial hídrico de superfície estão nas outras regiões (Nordeste, Sul e Sudeste), onde estão localizados 85,5% da população e 90,8% da demanda de água do Brasil.

A qualidade dos recursos hídricos brasileiros encontra-se regulamentada por padrões técnicos em critérios de classificação e enquadramento, estabelecidos na Resolução nº 20 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, de 18 de junho de 1986. As águas são divididas em doces, salobras e salinas, caracterizadas por nove classes de qua-

lidades. Cada classe é definida por padrões numéricos e atributos que constituem objetivos de qualidade a serem mantidos ou recuperados, tendo em vista os chamados usos preponderantes do recurso hídrico. O monitoramento da qualidade das águas é realizado por redes de coletas de amostras, tanto em âmbito federal quanto estadual; entretanto, não atinge o grau de eficiência alcançado pelo monitoramento quantitativo e muito menos a periodicidade adequada para formar uma consistente série histórica.

Muito embora essa regulamentação tenha sido implementada há mais de quinze anos, não se pode afirmar que dela decorreram ações que possibilitassem a reversão do quadro de degradação da qualidade das águas. Recentemente foi lançado pela Agência Nacional de Águas – ANA, o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas, que pretende in-

**Quadro 1 - Disponibilidade Hídrica do Brasil**

Bacias hidrográficas	Área de drenagem 10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>	Descarga média de longo período		Defluvio médio	
		m <sup>3</sup> /s	l/s /km <sup>2</sup>	Km <sup>3</sup> /ano	mm/ano
1 - AMAZONAS					
Bacia total	6,112	209,000	34,2	6,592	1,079
Bacia em território Brasileiro	*3,900	133,300	34,2	4,206	1,079
2 - TOCANTINS	757	11,800	15,6	372	492
3 - ATLÂNTICO					
NORTE/NORDESTE					
Norte (Sub-Bacias 30)	76	3,660	48,2	115	1,520
Nordeste (Sub-Bacias 31 a 39)	953	5,390	5,7	170	180
4 - SÃO FRANCISCO	634	2,850	4,5	90	143
5 - ATLÂNTICO - LESTE					
Sub-Bacias (50 A 53)	242	680	2,8	21	88
Sub-Bacias (54 A 59)	303	3,760	12,1	116	382
6 - PARANÁ					
Até a Foz do Iguaçu, inclusive esta Bacia em Território Brasileiro	901	11,300	12,5	356	394
	*877	11,000	12,5	347	394
6b - PARAGUAI					
Até a Foz do APA, inclusive esta Bacia em Território Brasileiro	485	1,700	3,5	54	110
	*368	1,290	3,5	54	110
7 - URUGUAI					
Até a Foz do Quaroi, inclusive esta Bacia em Território Brasileiro	189	4,400	23,3	139	735
	*178	4,150	23,3	131	735
8 - ATLÂNTICO SUDESTE	224	4,300	19,2	136	605
Produção Hídrica com Bacias Totais	10,724	258,750	24,1	8,160	761
Produção Hídrica Brasileira	*8,512	182,170	21,4	5,745	675

Legenda: \* - Área em território Brasileiro

Fonte: Ministério de Minas e Energia (Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL) / Ministério do Meio Ambiente (Secretaria de Recursos Hídricos -SRH e Agência Nacional de Águas - ANA)

centivar a implementação de sistemas de tratamento de efluentes e o aumento da eficiência dos existentes, bem como outras iniciativas para melhoria da qualidade das águas, mediante a retribuição financeira diretamente ao prestador do serviço em função dos volumes tratados e da qualidade do lançamento final. Trata-se de ação inovadora e com todas as possibilidades de êxito.

### 1.2. Abastecimento urbano-industrial - contaminação por efluentes

Em 1940, a população brasileira era de 40 milhões de habitantes, dos quais 12,8 milhões viviam em núcleos urbanos, enquanto que a maioria da população vivia na zona rural. Neste início de século, a população brasileira quase quadruplicou e a relação inverteu-se: hoje mais de 80% da população brasileira vive nas cidades.

A análise da evolução dos níveis de cobertura dos serviços de saneamento no Brasil revela que houve melhorias sensíveis no atendimento à população, sobretudo urbana, porém apenas no que se refere ao abastecimento de água. Em termos numéricos, no período entre 1970 e 2000, a população urbana cresceu 137%, passando de 52 milhões para cerca de 123 milhões. Paralelamente, o número de domicílios abastecidos por redes de distribuição de água passou de 60% para 91%. Cerca de 11 milhões de pessoas que residem em cidades ainda não dispõem de acesso à água através de rede. No meio rural, 9% da população possui ligações a rede de água potável, ressaltando-se, todavia, que a maior parcela desta população é abastecida diretamente por poços e nascentes.

Por outro lado, o oferecimento de serviços de coleta e disposição de esgotos é ainda muito deficiente mesmo nas grandes capitais, atingindo apenas 15% de cobertura. Quando se incluem nesta análise os sistemas de tratamento de esgotos, o índice de cobertura cai para apenas 8%. Considerando-se, mais amplamente, o saneamento básico, observa-se também que as deficiências devidas à crônica ausência de sistemas de coleta e adequada destinação final aos resíduos sólidos auxiliam a constituição de um panorama responsável por grande parte dos problemas de saúde pública que afetam principalmente as populações de baixa renda.

As periferias das grandes cidades, os pequenos aglomerados urbanos e as regiões mais pobres são onde se encontram as populações que mais carecem de serviços de sane-

## o estado dos recursos hídricos

amento. Segundo o Ministério da Saúde, 65% das internações hospitalares resultam da inadequação dos serviços e ações de saneamento, sendo a diarreia responsável, anualmente, por 50 mil mortes de crianças, a maioria com menos de um ano de vida.

O modelo institucional baseado nas Companhias Estaduais de Saneamento, resultante do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) - instituído em 1971 e extinto em 1986, seguramente foi capaz de modificar os índices de atendimento anteriores à década de 60. Todavia, a excessiva centralização nestas empresas, condicionando a obtenção de recursos à adesão do município ao sistema, configurou estruturas burocráticas, distantes dos problemas reais e incapazes de operacionalizar soluções tanto físicas como financeiras. Maiores desafios têm enfrentado os poucos serviços municipais ainda existentes que, na ausência de fontes de financiamento, estabeleceram compulsoriamente mecanismos, instrumentos e soluções inovadoras que lhes garante, em pequenas estruturas operacionais, uma saúde financeira. No **Quadro 2**, apresenta-se uma visão geral dos níveis de atendimento nas regiões brasileiras, indicando as principais concessionárias e população atendida.

Segundo dados do MPO/PMSS (Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana. Diagnóstico do Setor Saneamento: Estudo Econômico e Financeiro Brasília, 1995), para alcançar a meta de universalização dos serviços de água e esgotos para toda a população brasileira, em cerca de vinte anos, seriam necessários investimentos de aproximadamente US\$ 42 bilhões nesse período.

Em 1995, foi institucionalizado o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento que representa um instrumento fundamental para a eficácia da prestação de serviços de saneamento, sendo imprescindível à implantação do marco regulador do setor. O referido Sistema está ancorado na implementação de um banco de dados sobre saneamento ambiental e na utilização de indicadores de desempenho.

Um aspecto que cabe destacar, no que se refere à organização do setor, é a insuficiente articulação com programas e atividades de outras áreas, especialmente aquelas relacionadas com o meio ambiente e a gestão dos recursos hídricos. Existe uma dificuldade de reconhecimento, por parte dos agentes dos serviços de saneamento, da precedência da gestão da água enquanto recurso natural.

Quadro 2 - População atendida por serviços de água e esgoto

Regiões / Sigla	Municípios		Sedes municipais atendidas		Localidades atendidas		População total dos municípios atendidos		População urbana dos municípios atendidos	
	Total Municípios	Água Sedes	Esgoto Sedes	Água Localidades	Esgoto Localidades	Água Habitantes	Esgoto Habitantes	Água Habitantes	Esgoto Habitantes	
Região Norte										
CAER/RR	15	15	1	7	0	266.922	167.185	203.316	163.390	
CAERD/RO	36	36	2	14	0			735.612	280.286	
CAESA/AP	14	14	6	23	0	432.395	374.732	390.302	351.382	
COSAMA/AM	46	46	1	46	1	2.198.732	1.255.049	2.970.545	1.573.152	
COSANPA/PA	62	62	1	13	1	4.146.861	1.246.088	2.395.593	861.372	
DEAS/AC	15	15		1		236.899		107.689		
SANEATINS/TO	125	125	3	225	1	1.024.233	256.579	713.489	242.472	
<b>Totais Região Norte</b>	<b>313</b>	<b>313</b>	<b>14</b>	<b>329</b>	<b>3</b>	<b>8.306.042</b>	<b>3.299.633</b>	<b>7.516.546</b>	<b>3.472.024</b>	
Região Nordeste										
AGESPISA/PI	134	134	2	11	0	2.337.808	756.311	1.655.583	707.274	
CAEMA/MA	132	132	2	21	0	3.848.023	247.380	1.874.820	1.083.036	
CAERN/RN	140	140	25	13	0	2.332.271	1.395.280	1.875.296	1.261.274	
CAGECE/CE	132	132	11	45	0	5.506.762	2.954.179	4.175.170	2.843.266	
CAGEPA/PB	167	167	12	16	0	3.085.199	1.517.502	2.572.010	1.506.321	
CASAL/AL	80	80	1	84	1	2.276.666	786.288	1.533.897	742.026	
COMPESA/PE	174	168	6	74	0	7.231.387	3.825.641	5.449.191	3.546.408	
DESO/SE	71	70	3	253	0	1.612.263	557.634	1.156.723	503.965	
EMBASA/BA	342	335	23	540	6	11.003.983	4.698.722	7.294.097	4.155.763	
<b>Totais Região Nordeste</b>	<b>1.372</b>	<b>1.358</b>	<b>85</b>	<b>1.057</b>	<b>7</b>	<b>39.234.362</b>	<b>16.738.937</b>	<b>27.586.787</b>	<b>16.349.323</b>	
Região Sudeste										
CEDAE/RJ	61	59	6	160	0	11.273.517	8.146.916	10.769.065	7.782.369	
CESAN/ES	52	52	11	160	17	2.076.511	1.445.201	1.722.897	1.336.627	
COPASA/MG	513	513	53	72	8	11.524.145	5.555.878	10.035.920	5.548.262	
SABESP/SP	366	366	365	339	339	21.274.244	20.614.640	19.181.000	19.107.000	
<b>Totais Região Sudeste</b>	<b>992</b>	<b>990</b>	<b>435</b>	<b>731</b>	<b>364</b>	<b>46.148.417</b>	<b>35.762.635</b>	<b>41.708.882</b>	<b>33.774.258</b>	
Região Sul										
CASAN/SC	220	220	9	94	4	3.980.440	1.279.390	3.008.349	1.200.892	
CORSAN/RS	308	308	38	27	6	6.663.197	2.858.653	5.605.570	3.440.574	
SANEPAR/PR	342	342	128	277	6	8.660.005	6.885.222	7.467.010	6.252.787	
<b>Totais Região Sul</b>	<b>870</b>	<b>870</b>	<b>175</b>	<b>398</b>	<b>16</b>	<b>19.303.642</b>	<b>11.023.266</b>	<b>16.080.929</b>	<b>10.894.253</b>	
Região Centro-Oeste										
CAESB/DF	1	1	1	19	19	1.969.868	1.969.868	1.850.733	1.850.733	
SANEAGO/GO	219	219	24	28	0	4.529.832	2.299.185	4.326.880	2.648.538	
SANEMAT/MT	71	71	3	2	0	788.062	47.494	468.941	37.552	
SANESUL/MS	68	68	11	48	0	1.285.780	521.911	1.033.328	439.215	
<b>Totais Região Centro-Oeste</b>	<b>359</b>	<b>359</b>	<b>39</b>	<b>97</b>	<b>19</b>	<b>8.573.542</b>	<b>4.838.458</b>	<b>7.679.882</b>	<b>4.976.038</b>	
<b>Totais para o grupo</b>	<b>3.906</b>	<b>3.890</b>	<b>748</b>	<b>2.612</b>	<b>409</b>	<b>121.566.005</b>	<b>71.662.929</b>	<b>100.573.026</b>	<b>69.465.896</b>	

Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 1999

Informações Gerais - Prestadores de serviços de abrangência regional

As quantidades de sedes municipais não estão contidas nas quantidades de localidades

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS-SEDU/PR - 1999

### 1.3. Irrigação

A agricultura irrigada é a atividade humana que demanda maior quantidade total de água. Em termos mundiais, estima-se que esse uso responda por cerca de 80% das derivações de água. Segundo dados da Fundação Getúlio Vargas publicados em 1998, no Brasil, esse valor supera os 63%. A irrigação é exigente em termos de qualidade da água e, nos casos de grandes projetos, implica obras de regularização de vazões, ou seja, barragens, que interferem no regime fluvial dos cursos d'água e sobre o meio ambiente. Da mesma forma que nos usos domésticos, a irrigação é uma forma de uso consuntivo da água, isto é, parte da água utilizada para este fim não retorna imediatamente ao seu

milhões de hectares, mantendo-se esses índices, a irrigação tem capacidade para empregar cerca de 24 milhões de pessoas no país.

No **Quadro 3**, é apresentada a evolução do uso da irrigação no país e respectiva representação gráfica na **Figura 2**.

A medida que são intensificados os vários usos da água, torna-se evidente o crescimento dos conflitos. Na bacia do rio São Francisco, por exemplo, as projeções de demanda de água para irrigação, para transposição a outras bacias hidrográficas e manutenção dos atuais aproveitamentos hidrelétricos trazem preocupações. Segundo dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente – SRH (1999), a demanda total para outorga de uso da água nesta bacia é da ordem de 770 m<sup>3</sup>/s, sendo que cerca de 99% deste valor são previstos para projetos de irrigação. Com uma vazão média total na foz do rio de aproximadamente 2.850 m<sup>3</sup>/s, a vazão demandada corresponde a 27% da vazão total. Desta forma, torna-se imperativo que sejam realizados estudos mais criteriosos para os pedidos de outorga, uma vez que os impactos gerados podem causar grandes prejuízos à sociedade.

No Sudeste, evidenciam-se os conflitos em torno da utilização da água dos rios Paraíba do Sul, Piracicaba e Capivari, entre outros. No Sul do país, nas

**Quadro 3 - Evolução das áreas irrigadas no Brasil**

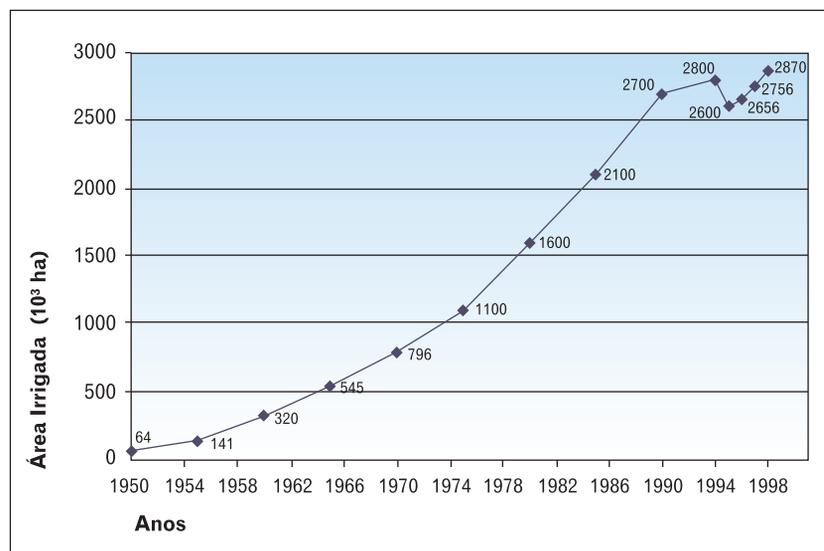
Ano	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1994	1995	1996	1997	1998
Área Irrigada (10 <sup>3</sup> ha)	64	141	320	545	796	1100	1600	2100	2700	2800	2600	2656	2756	2870
Taxa de crescimento (% ao ano)		17,11	17,81	11,23	7,87	6,68	7,78	5,59	5,15	0,91	-7,14	2,15	3,77	4,14

Fonte: Christofidis, D. - 1999

curso original, havendo redução efetiva da disponibilidade do manancial.

Os perímetros irrigados, por serem áreas de uso de uma tecnologia avançada, são indutores de várias outras atividades industriais e comerciais, promovendo uma dinamização da economia, circulando riquezas e gerando empregos. Estima-se que a agricultura irrigada brasileira seja responsável por 1,4 milhão de empregos diretos e 2,8 milhões de indiretos (Christofidis, 1999), o que implica, aproximadamente, na geração de 1,5 empregos a cada hectare irrigado. Como o Brasil tem potencial para irrigar 16,1

**Figura 2 - Evolução de áreas irrigadas no Brasil**





## o estado dos recursos hídricos

energia hidráulica, a principal forma de uso não consuntivo no Brasil, visto que cerca de 92% da produção de energia elétrica no País é de origem hidráulica. A hidreletricidade apresenta algumas vantagens não só em função do seu custo operacional mais baixo, mas, sobretudo, por produzir menores impactos no meio ambiente,

quando comparada a outras formas de geração de energia.

A geração hidrelétrica, ao garantir a produção de 92% da eletricidade consumida no Brasil, equivale a um valor aproximado de 10 bilhões de dólares/ano, se computado somente o aferido na etapa da geração de energia (Freitas, 1998). O potencial

**Quadro 4 - Principais vias interiores navegáveis no Brasil**

Bacia	Hidrovia/Rio	Estirão Navegável (km)	Em Operação	Eclusa/Barragem	Instalação Portuária	Obs:
1	Amazonas	3,600	S		S	
1	Madeira	1,100	S		S	
1	Mamoré/Guaporé	1,370	S		S	
1	Purus/Acre	(2.287+286)	S		S	
1	Juruá	2,464	S		N	
1	Urucu	530 (Lago Coari)	S*		N	
1	Tefé	>470	S*		N	
1	Negro/Branco	(310+427)	S		N	
1	Japurá	745	S		N	
1	Iça (ou Putomayo)	358	S		N	
1	Uatumã	295	S		N	
1	Tapajós	110	S		S	
1	Xingu	263	S		S	
1	Trombetas	120	S		S	
1	Jarí	110	S		S	
1	Guamá/Capim	(160+275)	S		S	
1	Moju/Acará	(87+90)	S		S	
2	Tocantins/Araguaia	2,213	S		S	Em projeto
2	Mortes	425	S		N	
3	Mearim	400	S*		N	
3	Pindaré	217	S*		N	
3	Grajaú	-	S*		N	Opera em águas altas
3	Pericumã	50	S*	Barragem	N	Reversível (cheias e marés)
3	Parnaíba	1,244	S*	2	N	
4	São Francisco	1,371	S	1	S	
4	Grande	366	S		N	
4	Corrente	110	S		N	
6	Paraná/Tietê	2,400 (1,642+758)	S	10	S	
6	Paraguai/Paraná	2.202 (3.442)				
8	Lagoa dos Patos	900	S	3	S	
7/8	Ibicuí/Jacuí					Estudo
	Paraguai/Amazonas Negro/Orenoco	Integração Mercosul				Estudo
	Paraná/Araguaia	7.000				Estudo

\*Navegação sazonal, principalmente em águas altas.

hidrelétrico brasileiro conhecido, referente a janeiro de 2002, é de aproximadamente 260 GW (**Quadro 5**), dos quais se encontram em operação cerca de 22%, existindo ainda potencial hidrelétrico a ser aproveitado.

### 1.6. Ambientes naturais

Parcelas adequadas de água devem ser reservadas para manter saudáveis os ecossistemas. No planejamento e gerenciamento tradicionais, as necessidades do ambiente natural, muitas vezes não são consideradas de modo satisfatório. A legislação deve, cada vez mais, proteger os rios, estabelecendo padrões de vazão e qualidades mínimas, bem como aloca, ao ambiente natural, águas que antes seriam destinadas a grandes projetos e usuários.

Além do saneamento, navegação, geração de energia, agricultura e do ambiente natural, outras demandas devem ser enfatizadas tais como: abastecimento industrial, recreação, dessedentação de animais, harmonia paisagística e diluição de efluentes.

Problemas como a dificuldade de viabilização de obras de finalidades múltiplas, a falta de recursos financeiros para usos de relevância social (saneamento, pesca, lazer, pequena irrigação, abastecimento rural), desequilíbrios regionais e conflitos entre interesses locais, regionais e nacionais, ainda devem ser superados, mediante a coordenação e agregação de esforços dos diversos setores interessados no aproveitamento e controle dos recursos hídricos.

### 1.7. Eventos críticos

#### Cheias - Qualidade da água Secas - Desertificação

Seja em função do regime dos cursos d'água, da poluição ou das elevadas demandas, em algumas áreas não há água suficiente para atendimento das necessidades dos setores usuários, resultando em competições de uso e conflitos. A escala de conflitos varia desde argumentações entre indivíduos, até a falta de acordo entre comunidades inteiras e, em casos extremos, entre cidades e países. Todavia, nem todos os problemas estão relacionados com a escassez de água.

Em países mais desenvolvidos, onde o pro-

blema de tratamento de esgoto já foi parcialmente ou totalmente resolvido, o grande problema de poluição das águas é a poluição difusa advinda do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais. O Brasil enfrenta ainda, o problema de tratamento de suas fontes poluidoras pontuais, tais como esgotos domésticos e industriais, em conjunto com a poluição difusa. Aqui, as soluções para tratamento objetivando minimizar ou mesmo eliminar as poluições pontuais, são bastante conhecidas, enquanto que as técnicas estruturais para a minimização da poluição difusa, tais como: pavimentação permeável, encostas gramadas, bacias de infiltração e alagados, são ainda pouco difundidas.

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (CCD), conceitua *desertificação* como o processo de degradação do ambiente em regiões áridas, semi-áridas e subúmidas secas em decorrência da ação antrópica, entendendo-

**Quadro 5 - Potencial hidrelétrico brasileiro**

Estágio	Potência (MW)
Remanescente	30.139
Individualizado	65.356
Total Estimado	95.496
Inventário	49.076
Viabilidade	37.079
Projeto Básico	9.305
Construção	7.407
Operação	61.720
Desativado	12
Total Inventariado	164.600
Total Geral	260.096

Fonte: SIPO (Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro)



se, neste caso, como degradação do ambiente, a degradação dos solos, da flora, da fauna e os recursos hídricos, como também o aumento do quadro de pobreza.

As áreas brasileiras enquadradas no conceito de desertificação, assim definido, são aquelas inseridas no semi-árido nordestino, cuja extensão é aproximadamente 858.000 km<sup>2</sup>. Algumas regiões localizadas fora do semi-árido também inseridas no âmbito da aplicação da Convenção, são aquelas que se encontram dentro do Polígono das Secas, este com extensão estimada de

ção extremamente paternalista com o Estado. Pode-se acrescentar que essa dinâmica reflete problemas de ordem estrutural com fortes reflexos ambientais. A tendência de sobrexploração dos recursos naturais nesta região é decorrência da falta de oportunidades de renda e da limitação de acesso ao mercado, com efeitos de médio prazo sobre a qualidade ambiental e sobre as possibilidades de manter a população fixada na região. Atualmente sobressaem no sertão a policultura de subsistência, a pecuária extensiva e alguns pólos de agricultura irrigada.

**Quadro 6 - Áreas afetadas pela desertificação no Nordeste**

Estado	Área total (km <sup>2</sup> )	Área afetada em termos absolutos(km <sup>2</sup> )		
		Moderada	Grave	Muito Grave
Alagoas	27.731	6.256	–	–
Bahia	561.026	258.452	10.163	–
Ceará	148.016	35.446	16.366	26.993
Paraíba	56.372	–	8.320	32.109
Pernambuco	98.307	–	28.356	22.883
Piauí	250.934	86.517	–	3.579
Rio Grande do Norte	53.015	5.154	18.665	8.337
Sergipe	21.994	2.071	–	4.692
<b>TOTAL</b>	<b>1.217.395</b>	<b>393.896</b>	<b>81.870</b>	<b>98.595</b>

Fonte: MMA/SRH/IBAMA

1.083.000 km<sup>2</sup>, incluindo municípios do norte de Minas Gerais e Espírito Santo.

Segundo dados da SRH/MMA, as áreas com sinais extremos de degradação, os chamados “Núcleos de Desertificação”, são Gilbués – PI, Irauçuba - CE, Seridó, confrontando com os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte e Cabrobó - PE. Outros processos semelhantes de degradação ambiental têm sido identificados no país, como é o caso de Alegrete no Rio Grande do Sul e dos fortes processos erosivos que ocorrem no Paraná, São Paulo, Rondônia e Tocantins. São áreas que, reconhecidamente, apresentam um quadro grave de deterioração ambiental, mas não estão enquadradas no conceito da Convenção.

No semi-árido vivem 18,5 milhões de pessoas, destacando o fato de que 8,6 milhões estão na zona rural. É marcada pelo ruralismo tradicional, com pouco ou nenhum acesso ao mercado, extrema dificuldade de absorção de novas tecnologias, hábitos fixados através de gerações e com uma rela-

Os estudos disponíveis indicam que o processo da desertificação na região semi-árida vem comprometendo seriamente uma área de 181.000 km<sup>2</sup>, decorrente de impactos difusos e concentrados sobre o território. O **Quadro 6** indica que a área afetada de forma muito grave é de 98.595 km<sup>2</sup> – cerca de 10% da porção semi-árida, e 81.870 km<sup>2</sup> do território são afetados de forma grave. As demais áreas sujeitas à ação antrópica – 393.897 km<sup>2</sup>, sofrem degradação moderada (**Figura 4**).

As enchentes são também grandes problemas em muitas partes do mundo, resultando em significativas perdas materiais e humanas.

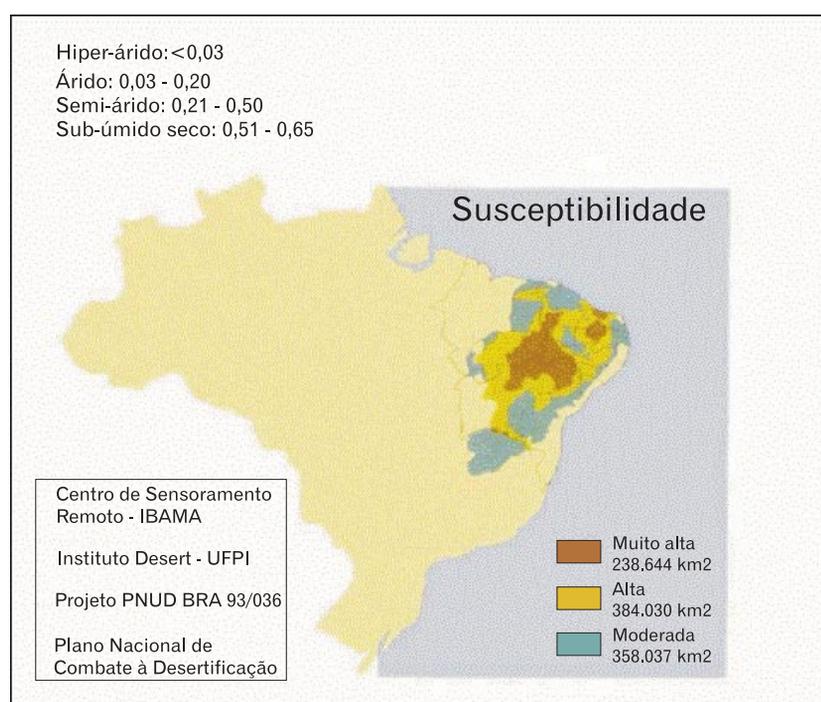
Considerando que as enchentes e as secas são, na maioria das vezes, fenômenos naturais, é necessário que sejam definidas medidas capazes de proporcionar um convívio com seus efeitos e assegurar ainda que as atividades humanas e mudanças no uso do solo não exacerbem estes problemas.

Ainda como situação hidrológica crítica resta citar a extra-

ção de areia e cascalho, bem como as demais atividades de mineração, bastante difundidas em todo território brasileiro, inclusive de garimpo. Essas práticas, ao serem realizadas sem os devidos estudos, medidas preventivas, e recuperação ambiental, afetam os corpos de água não só com assoreamento, mas, também, com as poluições de natureza física e química.

A poluição, tanto pontual como difusa, contribui para a eutrofização acelerada dos lagos e reservatórios, e a presença de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio possibilitam a proliferação de algas.

**Figura 4 - Desertificação - áreas afetadas**



Fonte: MMA / SRH / IBAMA

A conjunção desses fatores leva as populações a um estado de extrema pobreza, fazendo com que se estabeleça um processo de migração, na busca de condições mais favoráveis de sobrevivência. Esse processo migratório, por sua vez, agrava os problemas de infra-estrutura já instalados nos centros urbanos.

Muitas áreas irrigadas apresentam sinais de salinização, fruto da falta de investimentos em sistemas de drenagem. Por exemplo, nos 600 mil hectares irrigados nessa região registram-se sinais de salinização e/ou compactação do solo em aproximadamente 30% da área.

A destruição da biodiversidade vem provocando uma diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, através do assoreamento de rios e reservatórios e da

perda física e química de solos. Todos esses fatores restringem o potencial biológico da terra, reduzindo a produtividade agrícola e sacrificando as populações.

## 2. Águas subterrâneas no Brasil

A água subterrânea é a parcela de água meteórica – chuva, neblina e neve, principalmente – que infiltra e se desloca através dos terrenos da bacia hidrográfica em apreço. Entretanto, como sua velocidade de deslocamento é, regra geral, muito baixa (da ordem de cm/dia), os fluxos subterrâneos deságuam nos rios, alimentando o escoamento básico, especialmente durante os períodos de estiagem ou sem precipitação.

Ao se deslocar através do meio poroso intersticial ou fissural, a água subterrânea é submetida a processos de depuração natural em níveis ainda não alcançados pelos métodos convencionais de tratamento. Como corolário, a alternativa de uso da água subterrânea para abastecimento humano, freqüentemente, é a mais barata e constitui o principal suporte do negócio da água que é vendida engarrafada ou em “carro pipa”.

### 2.1. Do poço aos sistemas de fluxos subterrâneos

Os estudos hidrogeológicos tradicionais no Brasil compreendem, regra geral, a análise estatística de dados relativos às profundidades dos poços, níveis de água, vazões e qualidades daquelas produzidas, mesmo quando se ressalta, preliminarmente, a pouca consistência técnica ou científica dessas informações.

Entretanto, 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 questão.

Neste quadro, sabe-se, atualmente, que a prática da gestão integrada da água disponível na bacia hidrográfica em apreço - unidade física de planejamento - torna meramente teórico conceitos clássicos como "Safe Yield" - a extração de água não pode ser superior às taxas de recarga natural dos aquíferos da área em apreço (Meinzer, 1923). As recargas induzidas pelo uso intensivo dos aquíferos alteram os sistemas de fluxos subterrâneos, dando suporte ao sensível aumento dos volumes extraídos do subsolo.

A gestão integrada da água disponível torna sem sentido prático a clássica discussão da falta de concordância entre os limites físicos das bacias hidrográficas e geológicas, bem como os diagnósticos de superexploração, baseados no rebaixamento acentuado de nível d'água de poços.

Assim, a aplicação dos modelos analíticos do tipo Theis (1935) e similares, ou

entre sistemas aquíferos vizinhos, ampliação das zonas de recarga e de descarga natural ou induzida, modificação dos processos hidrogeológicos e geoquímicos de autodepuração, aleatórios ou determinísticos.

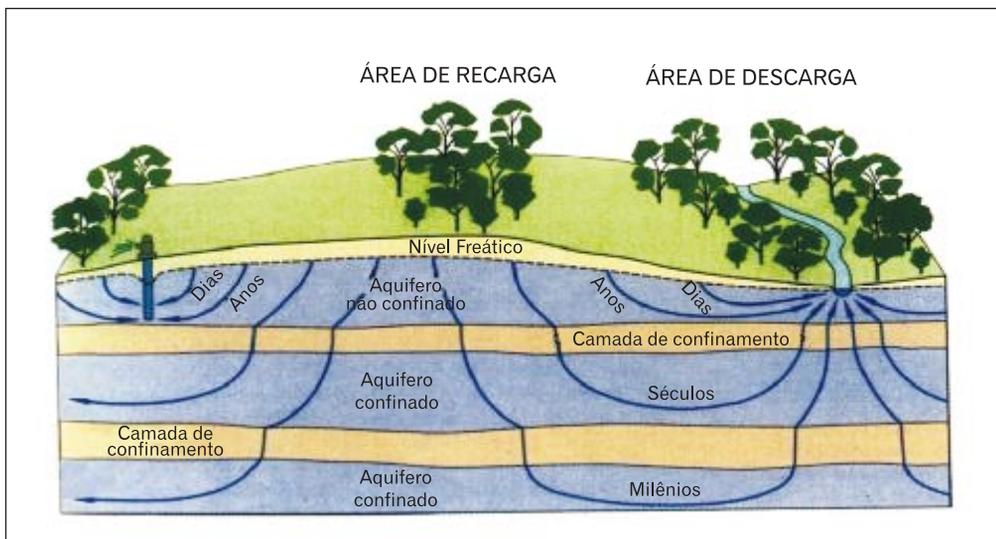
Por sua vez, o sistema de fluxo da água no subsolo da bacia hidrográfica em apreço poderá abranger dimensões locais, intermediárias ou regionais, nas quais os tempos de trânsito da água subterrânea poderão compreender, respectivamente, dias, anos, séculos ou milênios (**Figura 1**).

Vale salientar que, na abordagem de gestão integrada da água disponível numa UGRHI - Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Integrado - o sistema aquífero pode desempenhar variadas funções, tais como: produção, estocagem de água protegida dos agentes de poluição e dos processos de evaporação intensa principalmente, de autodepuração, fornecimento e uso cada vez mais eficiente da água necessária ao desenvolvimento das atividades sócioeconômicas na área em apreço (Rebouças, 1996).

A consideração do sistema de fluxos subterrâneos mostra, portanto, 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.

Os conhecimentos atuais indicam que, na maior parte dos casos, o rebaixamento acentuado dos níveis de água dos poços resulta das interferências de obras de captação

**Figura 1 - Do poço ao sistema de fluxos subterrâneos**



Fonte: Adaptado do United State Geological Survey-USGS, Circular 1139 - 2000

matemáticos do tipo MODFLOW 2D ou 3D e similares (USGS, 1997), por exemplo, mostra que toda a extração de água por meio de um ou de um grupo de poços, configura, inexoravelmente, a formação de cones de rebaixamento dos níveis das águas subterrâneas. Porém, a captura das linhas de fluxo subterrâneo passa a abranger uma frente de alimentação mais ampla, em relação às dimensões infinitesimais dos "tubos de correntes" da fase de pré-desenvolvimento. Como corolário, pode-se ter uma extração de volumes de água muito superior ao que seria possível, segundo o conceito clássico do "Safe Yield". Além disso, o bombeamento de poços pode engendrar uma maior dinâmica das interações

mal localizadas ou mal construídas. Desta forma, o diagnóstico de superexploração, que é estabelecido pelo balanço hidrológico entre taxas de recarga e descarga dos aquíferos, passa a não ter sentido hidrogeológico.

## 2.2. Regime hidroclimático e recarga das águas subterrâneas

A abordagem do sistema de fluxos subterrâneos torna evidente que a água subterrânea é a parcela daquela que cai da atmosfera – chuva, neblina ou neve, principalmente – e infiltra no solo/subsolo. Entretanto, verifica-se atualmente, que a importância desta recarga depende da interação de condicionantes geológicos, estruturais, tectônicos, de uso e ocupação do meio muito complexos e de fatores climáticos muito variados, tanto no espaço quanto no tempo.

Nesse quadro, os rios drenam, normalmente, a parcela das águas meteóricas – chuvas, neblina e neve - que escoam pela superfície dos terrenos **(R)** e aquela que infiltra e circula **(I)** pelo subsolo das respectivas bacias hidrográficas.

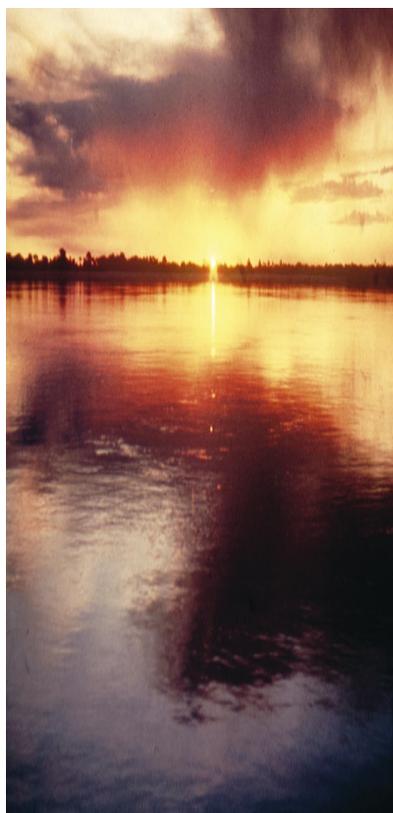
Assim, quando os rios de uma determinada região são perenes, significa que a recarga das águas subterrâneas de suas bacias hidrográficas é suficientemente importante para alimentá-los durante todo o período em que não ocorre precipitação de água da atmosfera.

Relata-se que, local e ocasionalmente no nordeste semi-árido do Brasil, ocorre a “seca verde”. Isto significa que parte da chuva que se infiltra no solo **(I)** dá suporte à explosão do verde da caatinga, porém, é insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas de subsistência. A parte que infiltra mais profundamente vai alimentar os estoques de água subterrânea, de tal forma que os rios que drenam os seus terrenos sedimentares permeáveis nunca secam durante os longos períodos de estiagem, tais como os rios Parnaíba e o São Francisco.

Entretanto, no domínio de ocorrência de rochas cristalinas e metamórficas praticamente impermeáveis, onde as possibilidades mais promissoras de esto-

cagem de água subterrânea são restritas às zonas de rochas fraturadas e manchas aluviais que se formam ao longo dos rios principais, a contribuição dos fluxos subterrâneos é de tal forma modesta, que os cursos d'água das bacias hidrográficas esculpadas nestas rochas, praticamente, secam após o período chuvoso de três a quatro meses (Rebouças & Marinho, 1970).

Devido à falta de dados de monitoramento do manancial subterrâneo e ao pouco conhecimento hidrogeológico dominante no Brasil, a interpretação dos ramos de recessão dos hidrogramas dos rios – representação gráfica das vazões em função do tempo – é o método disponível mais consistente para se avaliar as recargas efetivas da água subterrânea das bacias hidrográficas.

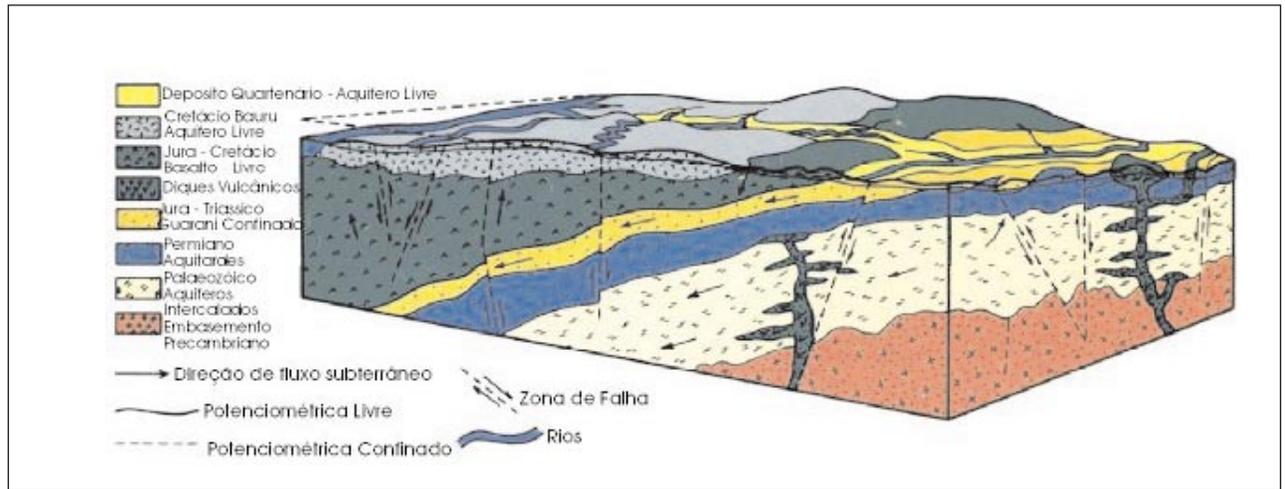


O PLIRHINE – Plano Integrado de Recursos Hídricos do Nordeste (SUDENE, 1980), indica que o escoamento básico dos rios temporários do Nordeste semi-árido corresponde a lâminas médias infiltradas que variam entre 11 mm/ano (UP Jaguaribe) e 44 mm/ano (UP Acaraú-Coreaú), sendo o valor médio regional de 26 mm/ano (Rebouças, 1997).

Sobre os cerca de 90% da extensão territorial do Brasil os rios são perenes, isto é, nunca secam. O escoamento básico destes rios indica que as lâminas infiltradas nas respectivas bacias hidrográficas variam entre 100 e 600 mm/ano (Rebouças, 2001).

Desta forma, a contribuição dos fluxos subterrâneos ao escoamento básico dos rios do Brasil é estimada em 3.144 km<sup>3</sup>/ano, ou seja, cerca de 60% da sua vazão total média de longo período (5.610 km<sup>3</sup>/ano). A utilização de apenas 25% dessa taxa de recarga da água subterrânea, já representaria uma oferta superior a 4.000 m<sup>3</sup>/ano *per capita* para abastecimento dos 170 milhões de habitantes do Brasil de 2002 (IBGE, 2000). Vale salientar que a análise da oferta de água nos países membros das Nações Unidas mostra que a oferta entre 1000 e 2000 m<sup>3</sup>/ano *per capita* já seria suficiente para usufruto do conforto moderno e desenvolvimento sustentável.

Figura 2a - Principais tipos de aquíferos na Bacia do Paraná



Fonte: Rebouças - 1976, DAEE - 1988

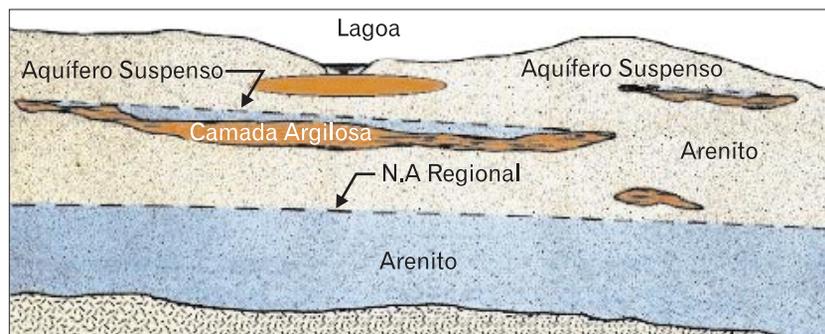
### 2.3. Tipos de aquíferos

À medida que a água subterrânea contida se encontra sob condições de pressão atmosférica normal, diz-se que o *aquífero* é do tipo livre ou não confinado (Figura 2a).

Vale salientar que o *aquífero freático* é um caso especial de aquífero livre, cujo nível d'água no poço perfurado ou escavado é raso (do grego, *frea* significa raso), isto é, o NA está situado, regra geral, à profundidade inferior a 10 metros (Figura 2a).

Muitos aquíferos no Brasil constituem, praticamente, a superfície topográfica em toda a extensão da sua área de ocorrência, tais como coberturas arenosas, zonas de afloramento de unidades aquíferas de bacias sedimentares, aluviões que se formam ao longo dos principais rios, dunas, manto de alteração das rochas do embasamento geológico de idade Pré-cambriana e nas suas zonas fraturadas aquíferas.

Figura 2b - Aquíferos suspensos nas chapadas arenosas



Fonte: Rebouças - 1999

Dentre os tipos de aquíferos intermediários principais normalmente encontrados no Brasil – semilivres e semi-confinados ou drenantes – destaca-se o *sistema aquífero suspenso* – isto é, quando a acumulação de água subterrânea ocorre acima do nível d'água (NA) regional ou potenciométrico. Este tipo de aquífero é muito frequente na topografia de planaltos ou chapadas arenosas do Brasil, tais como na Chapada do Araripe (fronteira entre os estados do Ceará, Pernambuco, Piauí), do Grupo Uruçuia (fronteira dos estados da Bahia, Goiás, Tocantins, Minas Gerais) e no Grupo Barreiras, recobrimento arenoso que ocorre ao longo do litoral brasileiro, do Amapá ao estado do Espírito Santo.

Neste contexto hidrogeológico, o nível d'água (NA) raso do cacimbão escavado na chapada poderá ser temporário, ou seja, seca ao longo do período sem chuvas ou desaparece, quando se perfura um poço profundo nas suas imediações. Nesse caso, significa que o poço profundo ou tubular atravessou o substrato hidrogeológico que dava suporte à acumulação de água subterrânea raso, o *aquífero suspenso* (Figura 2b).

## 2.4. Os agentes de contaminação

A água subterrânea ocorre “escondida” sob uma camada de material não saturado filtrante e de alto poder depurador. Em função de características geológicas locais e ocasionais, o aprofundamento do poço poderá ser a solução para obtenção de maior vazão e melhor qualidade da água extraída, enquanto em outros locais esta alternativa poderá resultar na redução substancial das vazões obtidas e piora da sua qualidade. Também, em função da falta de cimentação adequada do espaço anelar, selo sanitário e outras deficiências técnicas – construtivas, operacionais, manutenção e abandono dos poços, pode-se ter processos de contaminação cruzada, isto é, engendrada pelas águas poluídas, provenientes de camadas vizinhas ou mais rasas.

Nas zonas de rochas fraturadas aquíferas e manchas aluviais do embasamento geológico de idade Pré-cambriana do nordeste semi-árido, têm-se processos de salinização climática da água subterrânea, semelhantes aos que afetam as águas estocadas nos açudes (Santiago, 1984). Assim, com base nos resultados de 500 amostras analisadas, verifica-se que apenas 37% apresentam teores de sólidos totais dissolvidos (STD) iguais ou inferiores a 2.000 mg/l (Cruz & Melo, 1968; Rebouças, 1973).

Contudo, os estudos desenvolvidos pela EMBRAPA – CPTSA (2000) mostram que há várias alternativas de uso da salmoura, gerada pelos processos de desmineralização das águas extraídas por poços que captam as zonas de rochas fraturadas aquíferas do substrato cristalino do Nordeste

semi-árido. Dentre as várias alternativas viáveis, destaca-se a irrigação de plantas forrageiras halófitas, que são de grande alcance econômico e social no desenvolvimento da caprinocultura, principalmente.

Como resultado, tem proliferado, na última década, a utilização de desmineralizadores (dessalinizadores) das águas pelo processo de osmose inversa, principalmente. Neste caso, os principais problemas enfrentados resultam:

- a) Da falta de monitoramento da qualidade das águas que são extraídas dos poços, a qual tende a melhorar ao cabo de 2 - 3 anos de uso, à medida que o bombeamento intensivo do poço engendra maior dinâmica de renovação da água da zona aquífera que é captada;
- b) Da falta de manutenção dos equipamentos; e
- c) Da falta de uma utilização racional das salmouras assim geradas.

Todavia, a construção, operação e abandono desordenado de poços, as caóticas formas de ocupação do meio – tanto urbano quanto rural, a não coleta ou deposição inadequada do lixo que se produz nas cidades, principalmente, a implantação desordenada de postos de serviço, cemitérios, a instalação de tanques enterrados ou semi-enterrados de produtos perigosos sem as devidas considerações aos riscos de corrosão – sobretudo num país de muita chuva e clima quente ao longo da maior parte do ano, constituem os agentes cada vez mais frequentes que afetam a boa qualidade

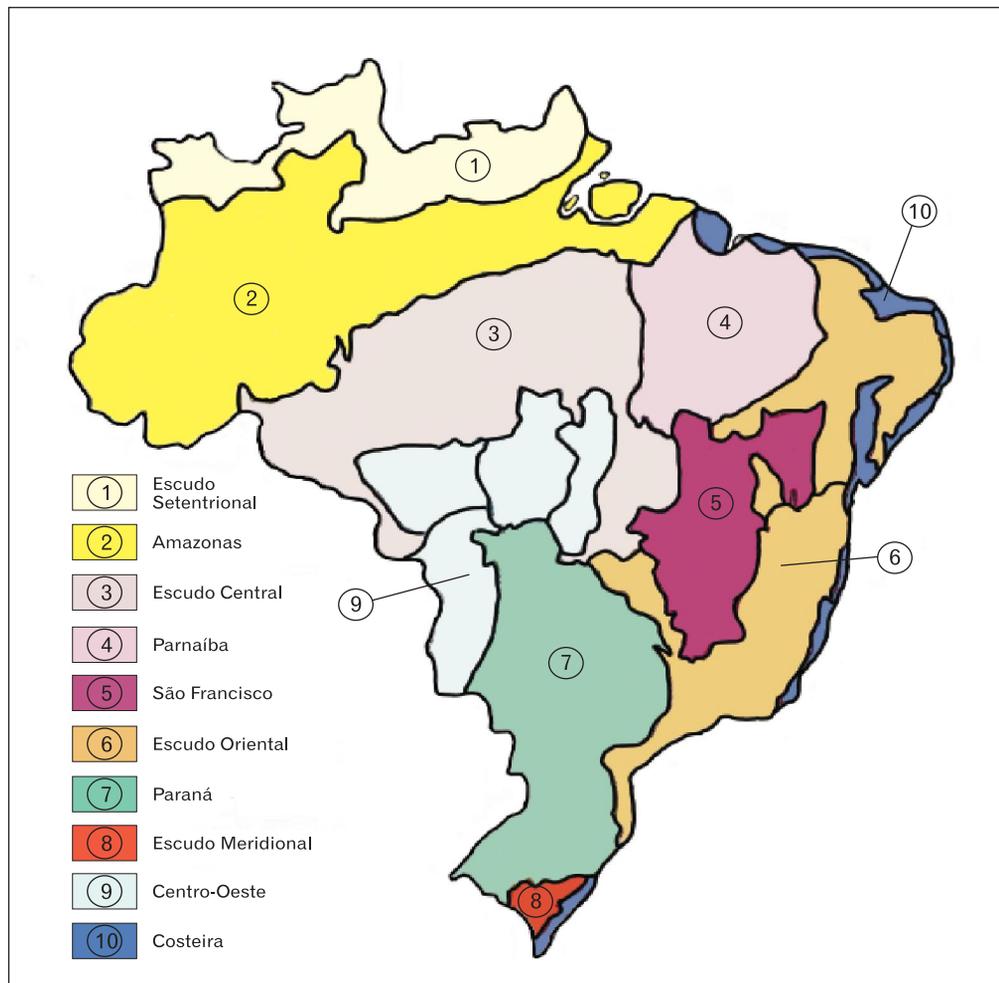
de natural da água subterrânea (Hassuda, 1997; Hirata, 1994; Hirata *et al.*, 1997).

Dentre os agentes de contaminação das águas subterrâneas, no Brasil, destaca-se a série nitrogenada ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_3$ ) engendrada, principalmente, pelo caótico quadro sanitário dominante nas nossas cidades (Parisot, 1983; Pacheco, 1984; Mello, 1995; Cavalcante, 1998; Santos, 2000).

Além disso, a crescente industrialização e o desenvolvimento de atividades agrícolas com uso intensivo de insumos químicos - fertilizantes, herbicidas, pesticidas - faz com que, entre os riscos de contaminação do binômio solo-água subterrânea, no Brasil, se tenham os micropoluentes químicos inorgânicos e orgânicos sintéticos (Hirata, 1994). Dentre os mais frequentes, destacam-se:

- a) **Inorgânicos não-metálicos**, tais como fósforo, selênio, nitrogênio, enxofre e flúor;
- b) **Metais tóxicos**, tais como mercúrio, cromo, cádmio, chumbo e zinco;
- c) **Compostos orgânicos sintéticos do grupo BTEX** – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, compostos aromáticos, fenóis, organoclorados voláteis diversos, compostos mais densos do que a água – DNAPL's – Dense Non Aqueous Phase Liquids, ou menos densos do que a água – LNAPL's – Light Non Aqueous Phase Liquids, hidrocarbonetos vazados dos postos de serviço, principalmente, dentre outros. A diferença física fun-

Figura 3 - Províncias hidrogeológicas do Brasil



Fonte: Mapa Hidrogeológico do Brasil - 1:5.000.000 - DNPM/CPRM - 1983

damental de densidade do poluente tem grande implicação nos custos e métodos de coleta das amostras e de monitoramento da qualidade da água subterrânea. Por sua vez, estes compostos têm, normalmente, origem antrópica diversa e afetam a saúde pública em teores da ordem do ppb – parte por bilhão e até do ppt – partes por trilhão, com efeitos mutagênicos ou carcinogênicos (Rebouças, 1999).

Entretanto, o mais preocupante é que poucos são os laboratórios, no Brasil, com capacidade material e, sobretudo, recursos humanos para determinar estes micropoluentes nos teores cada vez mais baixos que os padrões de potabilidade das águas de beber, normalmente, exigem.

## 2.5. Províncias hidrogeológicas do Brasil

Atualmente, no complexo quadro geológico do Brasil - litológico, tectônico e estrutural, principalmente, pode-se identificar dez domínios onde as condições de estocagem (porosidade), de fluxo (permeabilidade) e de recarga natural (infiltração das chuvas) são relativamente similares. Tais domínios constituem as 10 províncias hidrogeológicas do Brasil (Figura 3).

No caso dos domínios aquíferos de porosidade/permeabilidade intersticial primária, há dois tipos principais: os sedimentos aluviais e dunas, e as rochas sedimentares.

Nas bacias sedimentares, os depósitos constituem camadas ou corpos rochosos, relativamente extensos e mais ou menos consolidados. Os aquíferos dominantes nestas áreas são do tipo confinado, os quais são captados, atualmente, por poços tubulares profundos (30, 50, 100, 150, 250 até 3000 m, principalmente) locais, e ocasionalmente artesianos. As águas destes aquíferos apresentam-se relativamente protegidas contra os agentes de poluição – doméstica, industrial e agrícola, com uso intensivo de insumos químicos modernos, e boa qualidade para consumo doméstico, industrial e irrigação, principalmente. Nessas bacias, têm-se os maiores potenciais de água subterrânea do Brasil, sejam em termos de reservas, ou em termos de recarga, resultando serem perenes todos os rios que drenam essas áreas.

No extenso domínio de rochas do embasamento geológico, de idade Pré-cambriana, tem-se dois contextos hidrogeológicos distintos:

a) Nos 600.000 km<sup>2</sup> de terrenos cristalinos ou similares de idade Pré-cambriana, as características de porosidade/permeabilidade dominantes são do tipo fissural. As possibilidades mais promissoras de acumulação de água subterrânea ficam restritas às zonas de rochas fraturadas, e às manchas aluviais, que se formam ao longo dos principais rios que drenam as áreas de ocorrência dessas rochas.

b) No Nordeste semi-árido do Brasil, a experiência indica que as "entradas d'água" mais importantes são atravessadas, regra geral, até profundidades de 60 metros (Rebouças, 2001). Além disso, nessa área as chuvas médias normais variam entre 400 e 800 mm/ano, mas são muito irregulares, caindo numa semana o que deveria chover num mês, e num mês o que, normalmente, ocorreria no período chuvoso de 6 a 7 meses. Entretanto, as taxas de evaporação média normal variam entre 1000 e 3000 mm/ano. Desta forma, o correto, em termos médios hidrológicos, não é dizer que chove pouco no Nordeste semi-árido do Brasil, mas que evapora muito.

Como corolário, o uso cada vez mais eficiente da água disponível nessa área torna-se uma prática de fundamental importância para se alcançar as condições de desenvolvimento sustentado.

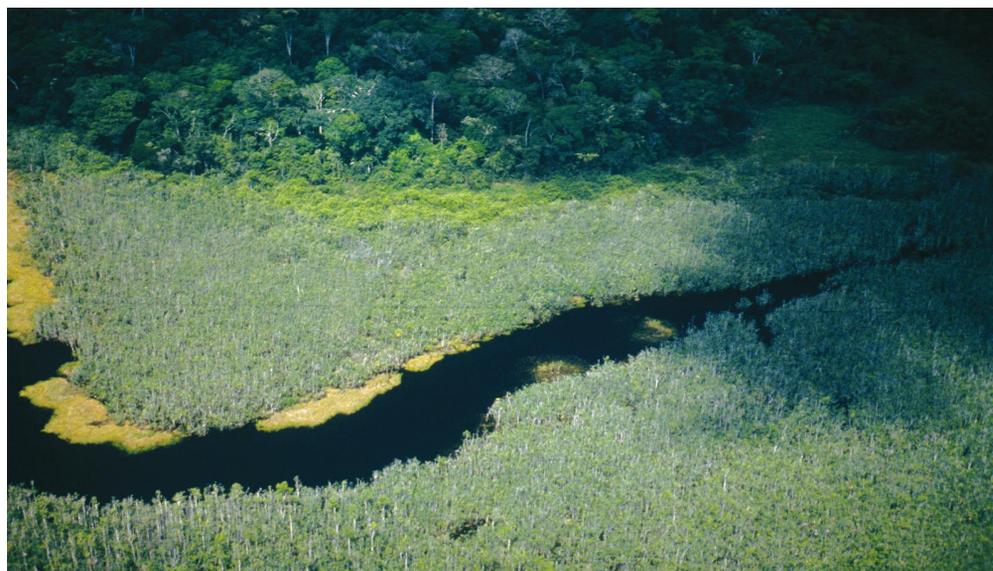
Vale salientar que, sob condições de clima tropical úmido – média pluviométrica entre 800 mm/ano a 3.000 mm/ano – os processos químicos de

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) que cobre perto de quatro milhões de km<sup>2</sup> do território brasileiro. Neste quadro, os valores de porosidade e permeabilidade do tipo intersticial do manto de rochas alteradas aumentam, gradativamente, com a profundidade, sendo  $S_y = 5 - 15\%$  e  $K = 10^{-4}$  e  $10^{-5}$  m/s no contato com a rocha sã. (Rebouças, 1988).

Nessa área, em geral, as características de porosidade/permeabilidade dominantes do tipo intersticial no manto de alteração evoluem para o tipo fissural, em profundidades de até 250 metros.

As taxas de recarga anual das águas subterrâneas acumuladas no manto de alteração, principalmente, são suficientemente importantes para alimentar o escoamento básico dos seus rios durante os períodos sem chuvas.

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.



Nos depósitos aluviais e dunas, os aquíferos são, fundamentalmente, do tipo livre, freático e muito vulnerável. As condições de uso e ocupação do meio físico afetam, fundamentalmente, a qualidade das águas extraídas, sobretudo por meio de poços rasos (3 a 10 m, principalmente), cravados e escavados, ou cacimbões.

## 2.6. Potenciais das águas subterrâneas no Brasil

Os dados da **Tabela 1** indicam que as reservas permanentes de água subterrânea dos principais contextos hidrogeológicos do Brasil possuem 80 km<sup>3</sup> nos 600.000 km<sup>2</sup> do domínio semi-árido de rochas de idade Pré-cambriana do Nordeste, princi-

palmente; atingem 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. A reserva permanente total de água subterrânea no Brasil é da ordem de 112.000 km<sup>3</sup>, sendo que cerca de 90% estão nas bacias sedimentares (Rebouças, 1988).

gicos básicos, os quais devem ser alimentados de forma permanente.

No Brasil, os potenciais hidrogeológicos referidos 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, são apresentados na **Figura 4**.

Verifica-se, assim, que as potencialidades de água subterrânea no território nacional são muito variadas. Nos domínios mais promissores, as capacidades específicas dos poços variam entre 5 e 10 e superiores a 10 m<sup>3</sup>/h.m<sup>-1</sup>. Nestas áreas, tem-se a possibilidade de obtenção de vazões por poço entre 250 e mais de 500 m<sup>3</sup>/h, com o rebaixamento de 50 metros do respectivo nível estático ou nível d'água (NA).

Dessa forma, o volume produzido por poço, durante 16 horas de operação por dia, seria suficiente para abastecer entre 20 mil e mais de 50 mil pessoas, com uma taxa *per capita* de 200 l/dia.

Nos contextos de rochas cristalinas com espesso manto de alteração, as capacidades específicas variam entre 1 e 5 m<sup>3</sup>/h.m<sup>-1</sup>, ou seja, as vazões explotáveis com até 50 metros de rebaixamento do NA do respectivo poço, durante 16 horas/dia de bombeamento, seriam suficientes para abastecer contingentes médios de até 10 mil habitantes.

Apenas no domínio de rochas cristalinas do Nordeste semi-árido, as capacidades específicas são inferiores a 1 m<sup>3</sup>/h.m<sup>-1</sup>. Todavia, a produção de 0,5 m<sup>3</sup>/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 1.500 pessoas, com uma taxa *per capita* de

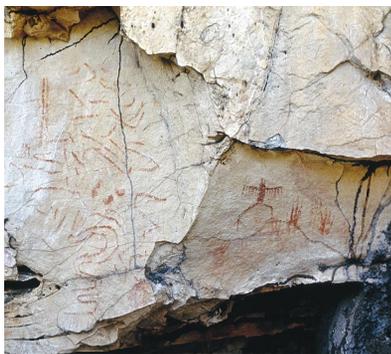
**Tabela 1 - Reservas de água subterrânea no Brasil e intervalos mais frequentes das vazões dos poços**

Domínio Aquífero	Área (km <sup>2</sup> )	Sistema Aquífero 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) F. Alter do Chão. (K)	32.500	10 - 400
Bacia Sed. São Luis-Barreirinhas	50.000	F. São Luis (TQ) F. Itapecuru (Ki)	250	10 - 150
Bacia Sed. Maranhão	700.000	F. Itapecuru (Ki) F. Cordas-Grajaú (Jc) F. Motuca (PTRm) F. Poti-Piaui (Cpi) F. Cabeças (Dc) F. Serra Grande (Sdsg)	17.500	10 - 1000
Bacia Sed. Potiguar-Recife	23.000	G. Barreiras (TQb) F. Calc. Jandaíra (Kj) F. Açu-Beberibe (Ka)	230	5 - 550
Bacia Sed. AL/SE	10.000	G. Barreiras (TQb) F. Marituba (Km)	100	10 - 350
Bacia Sed. Jatobá-Tucano-Recôncavo	56.000	F. Marizal (K mz) F. S. Sebastião (Kss) F. Tacaratu (SDt)	840	10 - 500
Bacia Sed. Paraná (Brasil)	1.000.000	G. Baurú-Caiuá (Kb) F. Serra Geral (Jksg) F. Botucatu-Piramboia-Rio do Rasto (Pr/TRp/Jb) F. Furnas/Aquidauana (D/PCa)	50.400	10 - 700
Depósitos Diversos	773.000	Aluviões, dunas (Q)	411	2 - 40
Totais	8.512.000		112.000	

Fonte: Rebouças - 1988, 1999.

Por sua vez, as vazões mais frequentes obtidas pelos poços já perfurados variam entre menos de 1m<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 1000m<sup>3</sup>/h nas bacias sedimentares sob condições de clima úmido.

Tendo em vista o nível generalizado dessas estimativas, é de fundamental importância realizar estudos básicos nos diferentes contextos hidrogeológicos, em escalas compatíveis com as complexidades e magnitudes dos problemas a solucionar, desenvolver monitoramento, e constituir bancos de dados hidrogeoló-



100 l/dia.

A barragem subterrânea é uma outra forma viável de uso e conservação da água que flui pelas manchas aluviais do Nordeste semi-árido. Desta forma, a água que flui através dos aluviões dos rios, praticamente secos, é protegida contra os processos de salinização engendrados pela evaporação intensa. Contudo, tal como um “garrote” que se aplica num braço ou perna para controlar uma hemorragia, a barragem subterrânea precisa ser operada, evitando-se, assim, a degradação do binômio solo/água, tanto por excesso de acumulação no setor de montante, quanto por deficiência de drenagem a jusante. O “enrocamento superficial do tipo arco romano invertido” é uma forma de barragem que se destina a reter os sedimentos e os fluxos de água que aí ocorrem. Entretanto, este tipo de captação das águas no semi-árido do Nordeste tem sua aplicação restrita aos setores onde ocorre relativa produção de sedimentos transportados pelas águas de escoamento superficial.

## 2.7. Qualidade das águas subterrâneas

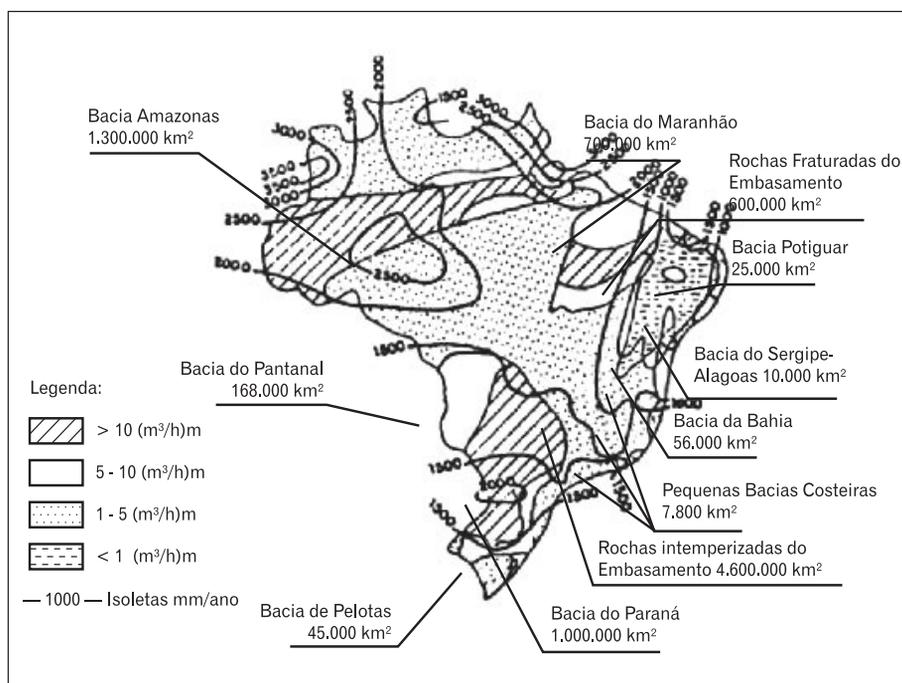
A água subterrânea no Brasil tem, em geral, uma qualidade que reflete a intensidade das recargas e o meio geológico/ambiental através do qual circula. Sobre o território brasileiro se tem uma abundante pluviosidade, temperaturas elevadas durante qua-

se todo o ano e uma alta reatividade geobioquímica. Como corolário, a água subterrânea apresenta boa qualidade natural ao consumo humano, já que está protegida dos agentes de contaminação que degradam os rios e outros corpos de água da superfície.

Nos domínios de rochas cristalinas, com espesso manto de alteração e exuberante cobertura vegetal, os elementos químicos restritivos de potabilidade natural da água subterrânea do Brasil são, sobretudo, o ferro e o manganês.

Nas bacias sedimentares, os depósitos têm idades que vão do período Siluriano ao Cretáceo, principalmente. Durante este longo intervalo de tempo geológico (450 milhões de anos) os processos de formação dos depósitos e os ambientes paleoclimáticos foram os mais variados – ora marinhos – mais ou menos profundos, ora continentais – de clima desértico e úmido.

Figura 4 - Potenciais de água subterrânea do Brasil



Fonte: Rebouças - 1978, 1988, 1999

Além disso, durante uma boa parte desse intervalo de tempo, teve lugar o intenso tectonismo que comandou o processo de abertura do Oceano Atlântico Sul. Assim, os sucessivos períodos de transgressão e regressão marinhas que ocorreram, afetaram, sobremaneira, a qualidade da água subterrânea encontrada nas bacias sedimentares, principalmente. Durante as fases de transgressão, os depósitos se formaram em ambiente marinho e os sedimentos mais antigos foram saturados de água salgada.

Ao contrário, durante os períodos de regressão do mar, houve lavagem dos aquíferos pelas águas meteóricas da infiltração que então ocorreu. Como corolário, a água subterrânea das nossas principais bacias sedimentares, tais como do Amazonas, Maranhão-Piauí, Potiguar e Bacias Costeiras, principalmente, cujos depósitos foram afogados pelo mar durante os períodos de transgressão Cretácea, só apresenta, geralmente, qualidade adequada ao consumo humano, industrial e irrigação, nas suas bordas ou nas profundidades que foram lavadas pelas águas de infiltração posteriores.

Por outro lado, no Brasil – em geral, as sucessivas reativações tectônicas deram suporte à intrusão de diques vários e à formação de blocos afundados – uns “*graben*”, levantados, outros “*horst*”. Estes eventos compartimentaram os pacotes de sedimentos que foram depositados, cujas espessuras máximas atingem perto de 10 mil metros.

Vale destacar que, somente na Bacia Sedimentar do Paraná, sede do Sistema Aquífero Guarani Transfronteiriço de idade Triássica (flúvio-lacustre) e Jurássica (eólica desértica), não ocorreu transgressão marinha desde então. Durante o Cretáceo e, sobretudo durante o Terciário, as condições climáticas dominantes na região foram úmidas, engendrando abundantes taxas de recarga, de tal forma que as águas do Sistema Aquífero Guarani se revelam doces até a profundidade de 2000m, já atingida por poços de produção de águas.

Os traços estruturais mais importantes do tectonismo que afetou o arcabouço geológico do Brasil são mapeáveis nos quase quatro milhões de km<sup>2</sup> de rochas cristalinas Pré-cambrianas, praticamente, aflorantes. Por sua vez, os seus prolongamentos nos setores cobertos pelos depósitos sedimentares mais importantes são evidenciados pela correlação dos perfis geológicos dos poços profundos já perfurados e pela interpretação de dados de prospecção geofísica – métodos gravimétricos, sísmicos de refração, eletromagnéticos e eletro-resistividade, principalmente.

Entretanto, verifica-se que o tectonismo que ocorreu após o período Cretáceo, o qual deu origem à Cordilheira dos Andes, por exemplo, é muito importante do ponto de vista hidrogeológico. Sabe-se, atualmente, que este Neotectonismo é responsável por características quantitativas e qualitativas da água subterrânea que é captada por alguns poços profundos já perfurados nas bacias sedimentares, bem como pela ocorrência de fontes de águas quentes, com composição química variada, por exemplo, podendo-se ter,

## o estado dos recursos hídricos

local e ocasionalmente, água subterrânea rica em sulfato, ferro, manganês, carbonato, flúor ou de compostos vários, em função da intensidade do tectonismo, das recargas e dos paleoambientes do domínio geológico em apreço.

### 2.8. Demandas e usos atuais

Os progressos tecnológicos da construção de poços, bombas, e sobretudo a expansão da oferta de energia elétrica, fazem com que a água subterrânea doce no mundo, em geral, e no Brasil, em particular, já esteja acessível aos meios técnicos e financeiros disponíveis.

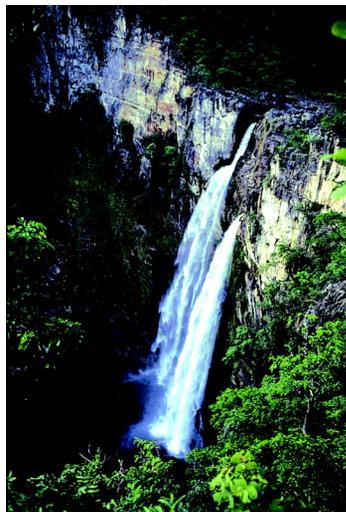
No Brasil, estima-se que cerca de 200.000 poços devem estar em operação; porém, não havendo controle da extração e uso da água subterrânea - tanto nos níveis federal, quanto estaduais - fica difícil caracterizar o seu nível de utilização. Conforme os dados do último censo sanitário, cerca de 61% da população brasileira se auto-abastece com água subterrânea, sendo 43% por meio de poços tubulares, 12% por meio de fontes ou nascentes e 6% por meio de poços escavados ou cacimbões (IBGE, 1991). Os dados do censo de 2000 indicam que houve um incremento da ordem de 191% na oferta de água não tratada no período de 1989 a 2000. Isto significa, certamente, uma maior percepção de que a alternativa de uso da água subterrânea para abastecimento é, em geral, a mais barata, sobretudo pelo fato de não necessitar ser tratada para ser consumida. Portanto, já se entende que consumir água não tratada significa, necessariamente, que ela esteja contaminada.

Em todas as áreas metropolitanas e grandes cidades do Brasil, a água subterrânea vem sendo utilizada, captada por poços tubulares não controlados também chamados de artesianos, para abastecimento de indústrias, hotéis de luxo, hospitais, postos de serviço, clubes esportivos e condomínios de luxo (Rebouças, 1978).

Em muitas cidades do Brasil, torna-se cada vez mais freqüente encontrar publicidade da existência de poço artesianos nos empreendimentos imobiliários. Cidades como São Luís (MA), Natal e Mossoró (RN), Recife (PE), Maceió (AL) e cerca de 72% das cidades do estado de São Paulo, 90% das cidades do Paraná e Rio Grande do Sul, são abastecidas por poços (Rebouças, 1999).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), estima-se que 10.000 poços estejam em operação para abastecimento de 95% das indústrias, hotéis de luxo, hospitais, condomínios e clubes, principalmente. Trata-se de

uma alternativa econômica e uma forma de se evitar os prejuízos engendrados pelos freqüentes racionamentos ou falta de fornecimento regular de água pelo serviço oficial (Rebouças *et al.* 1994). Ultimamente, a empresa estatal de água do Estado de São Paulo mede a descarga da ordem de 2000 poços para poder cobrar a taxa de esgoto, e utiliza um número crescente para abastecer populações da RMS, durante esse período de escassez relativa nas suas barragens.



Além disso, a atividade empresarial de venda de “água engarrafada” ou em “carro pipa” extrai água subterrânea por meio de poços e fontes, os quais ficam localizados, em sua maioria, no meio urbano ou vizinhanças. Existem registros de fontes de água mineral no Brasil que remontam a 1540.

O Código de Águas Minerais (Dec. Lei Nº 7.841/45) estabelece que a água engarrafada é um bem mineral e, como tal, as empresas recebem concessão da União para exploração da fonte natural ou artificial – poço, e conseqüente engarrafamento do produto (industrialização). O volume produzido, em 1994, era da ordem de 1,2 bilhão de litros, atingindo-se, em 2001, cerca de 2 bilhões de litros. Por sua vez, considera-se que o Brasil é um país privilegiado, não só em relação à qualidade de suas águas, como também pela capacidade hídrica subterrânea, estimando-se que as 170 empresas em

atividade utilizavam em 1994, na sua maioria, menos de 10% da capacidade instalada de vazão. Entretanto, o consumo per capita/ano de menos de 10 litros, coloca o Brasil numa posição muito distante dos grandes consumidores de água engarrafada no mundo, tais como Itália e França, com mais de 100 litros per capita/ano, Bélgica – 95, Espanha – 68, e Estados Unidos - 36 (ABINAM/DNPM, 1995).

A transformação demográfica ocorrida no Brasil durante as últimas décadas engendrou um crescimento inusitado das demandas de água nas cidades e a degradação da sua qualidade nos rios, em níveis nunca imaginados. Nesse

quadro, a água subterrânea desponta como a alternativa mais barata de abastecimento do consumo humano, principalmente à medida que apresenta boa qualidade natural e pode ser captada onde ocorrem as referidas demandas, dentre outros fatores.

## 2.9. O arcabouço legal e institucional

Os dados históricos indicam 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 uma autorização Central (Rebouças, 1976).



Durante a Primeira República (1889 – 1930), o uso da água subterrânea ficou sem controle, tanto Federal quanto estadual. Somente 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, composto de três livros. Apesar de seus quase 70 anos, e ainda ser considerado pela Doutrina Jurídica como um dos textos modelares do Direito Positivo Brasileiro, somente o livro III – referente às forças hidráulicas e indústrias hidrelétricas, recebeu a necessária regulamentação. Em virtude da carência de legislação referente aos domínios das águas, livros I e II do Código de 1934, houve pouco desenvolvimento doutrinário no setor.

A Constituição Federal de 1988 modificou, em vários aspectos, o texto do *Código de Águas* de 1934. Uma das mais importantes alterações feitas foi a da extinção do domínio privado da água, previsto em alguns casos naquele diploma legal, em particular 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”.*

Aspectos de uso e conservação atuais da água subterrânea, tais como a licença e outorga de poço, o usuário-pagador e o poluidor-pagador, já eram previstos no Código de Águas de 1934 (Art. 97 até 101); porém, nunca foram sequer regulamentados.

Portanto, a partir da Carta Magna de 1988, todas as águas do Brasil passaram a ser do domínio público. Uma outra modificação que a Constituição Federal 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*

## o estado dos recursos hídricos

*(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.

A extração excessiva da água subterrânea de uma bacia hidrográfica poderá engendrar o desaparecimento de nascentes ou fontes, secagem de lagoas, pantanais, redução das descargas de base dos rios, deslocamento da interface marinha e o aparecimento de problemas de recalques diferenciais dos terrenos principalmente. Outra forma de impacto da extração desordenada das águas subterrâneas de uma bacia hidrográfica diz respeito à redução da umidade dos solos, que dá suporte ao desenvolvimento da cobertura vegetal natural ou cultivada.

