

Nadia Rita Boscardin Borghetti
José Roberto Borghetti
Ernani Francisco da Rosa Filho

A integração das águas

REVELANDO O VERDADEIRO AQUÍFERO GUARANI

Curitiba
2011

Depósito legal junto à Biblioteca Nacional, conforme
Decreto n.º 1823, de 20 de dezembro de 1907.

Criação (capa)
Hilton Osório Torres

Adaptação (capa)
Positivo Comunicação Gráfica

Diagramação
Positivo Comunicação Gráfica

Composição
Maria Laura Zocolotti

Ilustrações
Hilton Osório Torres

Mapas
Stella Maris Gazziero

Mapas do Encarte
Flávio Bonacordi

A integração das águas

B741 Boscardin Borghetti, Nadia Rita
A integração das águas: revelando o
verdadeiro Aquífero Guarani / Nadia Rita
Boscardin Borghetti, José Roberto Borghetti,
Ernani Francisco da Rosa Filho. – Curitiba:
Edição da Autora, 2011.
276p.: il.

Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-911537-0-1

1. Aquíferos. 2. Águas subterrâneas. 3. Águas
superficiais. I. Borghetti, José Roberto. II. Rosa
Filho, Ernani Francisco da. III. Título.

CDD 551.49
CDU 556.3

*Este livro é dedicado
à Nação Guarani.*

Agradecimentos

Nossos agradecimentos ao Prof. Afonso de Oliveira (Unioeste, Foz do Iguaçu), pela pronta disposição na coleta do material bibliográfico sobre a água e o Aquífero Guarani; à Ana Luiza Sabóia de Freitas, da Agência Nacional de Águas (ANA), por ter cedido gentilmente o material em “vetorial” do mapa esquemático hidrogeológico do Sistema Aquífero Guarani, de grande valia para a elaboração dos mapas contidos neste livro; aos Professores Eduardo Lanna e Carlos Tucci, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em razão de dúvidas elucidadas; aos geólogos João Horácio Pereira (SANEPAR/PR), Carlos Alvin Heine (CORSAN/RS), Mariano José Smanioto e José Luiz Flores Machado, pelas informações sobre o aproveitamento das águas do Aquífero Guarani nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul; à Denise Schenfert, pelo exaustivo levantamento dos municípios que são abrangidos pelo Aquífero Guarani e valiosa colaboração na elaboração dos mapas; aos Srs. José Roberto Marinho, Presidente da Fundação Roberto Marinho, e Jorge Samek, Diretor-Geral da Itaipu Binacional, pelo apoio institucional; ao Prof. Antonio Ostrensky, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela revisão final da obra e ao Prof. Danilo Antón, pesquisador uruguaio, pela colaboração e entusiasmo em relatar a história da Nação Guarani.

Estendemos nossos agradecimentos aos geólogos Everton Luiz da Costa Souza, Presidente da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), e Didier Gastmans (Universidade Estadual de São Paulo/Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP/IGCE - Rio Claro), pela importantíssima e pronta colaboração na atualização dos dados referentes aos municípios brasileiros que fazem parte da área de afloramentos do Aquífero Guarani e dos complexos turísticos hidrotermais que utilizam suas águas.

Agradecimento especial

Ao geólogo Amim Katbeh (Hidropel), por tornar evidente a importância de divulgar a existência e a magnitude do Aquífero Guarani. Em virtude dessa necessidade, nasceu a ideia de se elaborar um livro que contemplasse as informações mais relevantes sobre esse manancial. A pesquisa sobre o Aquífero Guarani levou-nos até o Prof. Ernani Francisco da Rosa Filho, cuja participação foi imprescindível à elaboração desta obra. Sendo assim, agradecemos ao amigo Amim ter-nos proporcionado o envolvimento em um assunto e numa obra tão importante, em se tratando da complexidade dos problemas referentes aos recursos hídricos do planeta.



Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA)

Este livro foi elaborado com o apoio do Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA).

O GIA começou a ser estruturado na Universidade Federal do Paraná, em 1997, e atualmente é um grupo de pesquisa composto por uma equipe que mescla especialistas altamente qualificados (Ph.D.'s, doutores e mestres) e profissionais em início de carreira.

Seu corpo técnico é composto por profissionais das mais variadas áreas de atuação, como oceanólogos, biólogos, médicos veterinários, engenheiros agrônomos, engenheiros de pesca, zootecnistas, advogados e designers.

O GIA é hoje um grupo de referência nas mais diversas áreas relacionadas aos ambientes aquáticos, com especial ênfase à pesca e aquicultura, atuando:

- No desenvolvimento de projetos de produção de camarões, peixes e moluscos.
- Na elaboração de planos de negócios, licenciamento ambiental e estudos de viabilidade técnico-econômica de projetos.
- Na identificação e solução de problemas operacionais e sanitários de cultivos.
- Na elaboração de planos de desenvolvimento e na estruturação de cadeias produtivas.
- No zoneamento econômico e ecológico de atividades aquícolas.
- Na realização de perícias técnicas e auditoria de projetos para agentes financeiros e para o Ministério Público.
- Na realização de consultorias a grandes empresas, órgãos e instituições públicas.
- Na elaboração de diagnósticos, programas de monitoramento ambiental e de biorremediação.
- No planejamento e gestão de recursos naturais.
- Na execução de programas de recuperação ambiental e de mitigação de impactos.
- Na elaboração de programas voltados ao desenvolvimento econômico-social de comunidades costeiras ou ribeirinhas.
- Na promoção de cursos de capacitação em aquicultura e programas de educação ambiental.
- Na formação e na qualificação de pessoal, por meio dos cursos de mestrado e de doutorado aos quais seus doutores estão vinculados.

Antonio Ostrensky
Coordenador do GIA

Acreditamos na Educação

Uma educação humanista, concebida como prática de formação cidadã, que valoriza a cultura do país, que transforma pelo saber, que instiga o pensar, o sentir e o agir numa dimensão crítica e empreendedora.

Uma educação que, sendo planetária, nasce no trabalho local, na relação sustentável com o meio ambiente, a partir do pluralismo, da diversidade e da cooperação.

Uma educação que investe na construção coletiva do conhecimento para desenvolver competências, habilidades e atitudes que possibilitem a inserção das pessoas, com felicidade, no mundo do trabalho, em seu ambiente social e familiar.

Uma educação que, com o uso das tecnologias da informação e da comunicação, promove o desenvolvimento e a interação das pessoas, apontando para a criação de comunidades de conhecimento.

Esta é a visão sobre educação da Fundação Roberto Marinho.

Porque Educação é Tudo.

Presidente - José Roberto Marinho
Secretário-Geral - Hugo Barreto
Secretário Executivo - Nelson Savioli
Gerente de Desenvolvimento Institucional - Ricardo Piquet
Coordenadora de Desenvolvimento Institucional - Flávia Constat
Gerente de Meio Ambiente - Andrea Margit
Gerente de Publicidade - Jarbas Mantovanini

Missão: Gerar energia elétrica de qualidade, com responsabilidade social e ambiental, impulsionando o desenvolvimento econômico, turístico e tecnológico sustentável no Brasil e no Paraguai.

Políticas e Diretrizes Fundamentais

- Integração binacional - Comprometimento constante na busca conjunta de soluções concretas das necessidades dos dois países, internas ou externas à empresa, simétricas ou não, constituindo-se um exemplo de binacionalidade e instrumento de integração da América do Sul.
- Valores éticos - A conduta ética de todos os integrantes da empresa constitui-se em obrigação fundamental e permanente.
- Eficiência empresarial - A gestão dos recursos empresariais será otimizada visando a modicidade tarifária e o cumprimento da missão empresarial.
- Gestão responsável, participativa e transparente - Respeito à pluralidade de ideias em todos os níveis de gestão, onde as avaliações para a tomada de decisão levarão em conta os compromissos com a responsabilidade, a participação e a transparência.
- Valorização dos recursos humanos - Reconhecimento da dignidade, responsabilidade, competência e desempenho dos empregados, valorizando seu crescimento profissional e desenvolvimento humano.
- Compromisso social - Obrigação que assume a empresa frente à comunidade no sentido de cooperar ativamente no seu desenvolvimento integral.
- Compromisso ambiental - Obrigação da empresa com a preservação, conservação e recuperação das condições ambientais da área de influência, mediante a difusão, execução e apoio de ações ambientais adequadas, legando às gerações futuras um ambiente melhor.

Diretoria executiva

Diretor-Geral Brasileiro - *Jorge Miguel Samek*
Diretor-Geral Paraguai - *Gustavo Cotas Friedmann*
Diretor-Técnico Executivo - *Antonio Otélo Cardoso*
Diretor-Técnico - *Rubén Esteban Brasa Soto*
Diretor Jurídico Executivo - *Eusebio Ramón Ayala Gimenez*
Diretor Jurídico - *João Bonifácio Cabral Júnior*
Diretor Administrativo Executivo - *Constancio Mendoza Ortíz*
Diretor Administrativo - *Edésio Franco Passos*
Diretora Financeira Executiva - *Margaret Mussoi Luchetta Groff*
Diretor Financeiro - *Gladys Stella Benegas Cristaldo*
Diretor de Coordenação Executivo - *Pedro Benjamin Mancuello Pérez*
Diretor de Coordenação - *Nelton Miguel Friedrich*

Prefácio

A distribuição, os usos múltiplos e a disponibilidade da água *per capita* e por região são problemas fundamentais que sempre afetaram a história da humanidade e de todos os seres vivos do planeta, e continuarão afetando e definindo os rumos ou para o desenvolvimento sustentável ou para uma crise de recursos sem precedentes na história do *Homo sapiens* na sua ainda curta existência no planeta Terra.

Por isso, todos os livros que disponibilizam estas informações para o público em geral e as atualizam para o público especializado são muito bem-vindos.

A presente obra, que muito me honra prefaciá-la, é um destes volumes. Elaborada com muito cuidado e estatísticas precisas, de fontes fidedignas, coloca informações significativas sobre volumes e distribuição de água no planeta, disponibilidade de água por país e região e *per capita*. Mostra também, com base em estatísticas recentes, os índices pluviométricos e os volumes dos recursos hídricos renováveis.

A distribuição e a disponibilidade hídrica social no Brasil são tratadas com bastante detalhe, bem como os usos da água nos diferentes continentes e países.

A obra dedica especial atenção ao Aquífero Guarani, suas características, volume, distribuição geográfica e usos múltiplos, promovendo uma descrição detalhada e bem objetiva deste importante recurso natural para países do Mercosul e especialmente para o Brasil. Descreve os impactos destes usos no aquífero e trata de sua preservação e qualidade da água. O capítulo 4 aborda um outro aspecto fundamental do problema, que é a importância econômica do Aquífero Guarani e sua influência no desenvolvimento socioeconômico da área em que se distribui. Finalmente, o capítulo 5 apresenta um conjunto de recomendações para a gestão e preservação dos recursos hídricos, com especial enfoque para a qualidade e quantidade de água.

Este volume possui importantes facetas, e sem dúvida, será útil para um público cada vez mais ávido de informações precisas e qualificadas sobre água.

O enfoque sobre o Aquífero Guarani é muito abrangente e extremamente oportuno, devido ao interesse geral e específico desencadeado sobre este manancial subterrâneo.

Obra de agradável leitura, objetiva e bem escrita, sem dúvida este volume é mais uma contribuição qualificada ao problema água e recursos hídricos e será de grande utilidade atual e futura.

Prof. Dr. José Galizia Tundisi

Presidente – Instituto Internacional de Ecologia de São Carlos/SP

Professor titular convidado do Instituto de Estudos Avançados da USP – São Carlos

Apresentação

O livro *A Integração das Águas: Revelando o verdadeiro Aquífero Guarani*, escrito por Nadia Rita Boscardin Borghetti, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho, nasce como uma fonte obrigatória de consulta e informação.

Esse livro apresenta um panorama do quadro socioeconômico das regiões de ocorrência do Aquífero Guarani, possibilitando a visualização das necessidades, identificando as formas de utilização mais adequadas e sustentáveis do aquífero nos mais diversos setores econômicos e sociais.

Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai compartilham o Aquífero Guarani, que é um dos maiores do mundo, cuja denominação foi dada pelo geólogo uruguaio Danilo Antón, com o objetivo de unificar a nomenclatura nos quatro países por onde o aquífero se distribui e, simultaneamente, prestar uma homenagem à nação dos guaranis, que habitavam a área de sua abrangência.

Esse aquífero transfronteiriço possui uma área de 1,2 milhão de km² e um volume estimado de 46 mil km³ de água, superior a toda a água contida nos rios e lagos do planeta, e concentra atualmente uma população aproximada de 34,3 milhões de habitantes.

Caracterizado por qualidades quase únicas no mundo, como a potabilidade das suas águas, onde o confinamento pelos basaltos é baixo, a surgência e o termalismo, com economia de kilowatts, o uso de suas águas torna-se mais econômico, promovendo aplicações múltiplas nas atividades industriais, agroindustriais e no turismo hidrotermal. Além disso, a utilização deste manancial envolve menos recursos financeiros do que normalmente são exigidos para a construção de barragens, e principalmente sem os efeitos negativos ao meio ambiente causados pelas grandes obras, possibilitando a aceleração do desenvolvimento socioeconômico das regiões do Mercosul. O seu potencial hidrotermal tem grande alcance socioeconômico mediante o uso racional e integrado, especialmente quando destinado para fins de irrigação, secagem de grãos, refrigeração de alimentos, climatização de ambientes, produção de águas engarrafadas, controle de geadas/culturas em estufas e para as várias atividades agroindustriais.

O aproveitamento das reservas explotáveis, armazenadas no Aquífero Guarani, apesar de representar um importante elemento para o desenvolvimento econômico e social da região do Cone Sul, requer ainda muitos estudos que disponibilizem informações para que este potencial seja usado de forma sustentável.

As zonas de afloramentos do Aquífero Guarani apresentam uma grande sensibilidade às atividades antrópicas nos assentamentos urbanos e industriais. Estudos têm revelado que as águas do Guarani ainda estão livres de contaminação. Contudo, faz-se necessário o constante monitoramento e controle da utilização de agrotóxicos, visando evitar possíveis contaminações das suas águas nas áreas de recarga onde a atividade agrícola é intensa.

Outro fator de risco vem do grande número de poços rasos ou profundos, que são feitos e desfeitos sem o devido cuidado e com total ausência de orientação e fiscalização por parte do poder público, o que poderá levar à contaminação das águas desse aquífero. Aliás, esta é uma situação comum em todo o Brasil, a exploração dos lençóis freáticos sem o estudo de recarga, sem orientação e sem fiscalização. Uma pena!

A água é um recurso natural reciclável, mas limitado, vital para a maioria das atividades humanas e para o ambiente. Em um passado não muito distante, a água abundante e de boa qualidade podia ser utilizada livremente, sem que houvesse qualquer tipo de restrição, sendo regida pelo aspecto de gratuidade natural.

O crescimento acelerado da população mundial tem reflexos diretos no aumento da demanda por água, na extração excessiva dos aquíferos, no desperdício, no uso irracional, na poluição, na contaminação e na degradação dos mananciais. Somados, estes fatores certamente levarão, em poucas décadas, a uma crise no abastecimento e na disponibilidade de água. Certamente, essa crise tende a alimentar mais guerras e conflitos regionais. E hoje já temos a triste realidade da contaminação da maior parte de nossos rios nas regiões Sul, Sudeste, parte do Centro-Oeste e Nordeste.

Além disso, se pensarmos que a água, como elemento fundamental para a vida, deve ser, obrigatoriamente, acessível para todos, sem nenhuma forma de distinção, temos várias questões complicadas sobre esse tema. Água potável para a população exige do Estado uma garantia do seu fornecimento para todos, principalmente para aqueles que não podem arcar com seus custos.

Portanto, a água adquire, cada vez mais, valor econômico e papel estratégico no desenvolvimento das nações, principalmente se considerarmos que a qualidade de vida da população de uma região pode ser medida pela qualidade dos serviços de abastecimento e distribuição de água potável a ela.

A necessidade de água cresce numa proporção duas vezes maior do que o aumento da população. A deterioração das reservas de águas superficiais (rios e lagos) e subterrâneas (aquíferos) ocorre ao mesmo tempo em que não se racionaliza o seu consumo.

As projeções para 2025 e 2050 indicam que cerca de 3,3 e 6,3 bilhões da população mundial, respectivamente, estarão vivendo sob condições de disponibilidade hídrica social

baixa. Já a maior disponibilidade hídrica social deverá estar distribuída pelo Norte da Europa, Canadá, Alasca, América do Sul, África Central, Sibéria, Extremo Oriente e Oceania. As mudanças de atitude com relação ao uso e conservação da água só serão possíveis através da intensificação de programas de educação ambiental e da conscientização da sociedade de que a água, apesar de abundante, não é inesgotável.

Felizmente, a América do Sul apresenta abundância em recursos hídricos, porém este fato não exclui os governantes e a população sul-americana da sua responsabilidade na preservação e utilização desses recursos.

Concluindo, a água é um recurso natural em crescente processo de escassez e deterioração, e está cada vez mais caro e mais difícil disponibilizá-la para consumo, seja nas torneiras de nossas casas, seja na agricultura ou na indústria. Hoje já temos fontes alternativas de energia, que não o combustível fóssil (petróleo), mas a água será sempre insubstituível para a humanidade e para o meio ambiente.

José Roberto Marinho
Presidente da Fundação Roberto Marinho

Introdução

O livro “A Integração das Águas: revelando o verdadeiro Aquífero Guarani” elaborado pelos biólogos Nadia Rita Boscardin Borghetti e José Roberto Borghetti, e pelo hidrogeólogo Ernani Francisco da Rosa Filho, com o apoio da Itaipu Binacional e da Fundação Roberto Marinho, é, sem dúvida, a mais completa obra sobre o Aquífero Guarani.

O objetivo inicial do livro, de divulgação da magnitude desse imenso reservatório para a sociedade em geral, foi ampliado nesta edição, visto que os autores perceberam a necessidade de agregar dados sobre a disponibilidade e uso dos recursos hídricos no planeta, o reconhecimento das águas subterrâneas como reserva estratégica e a necessidade do uso racional e da preservação dos recursos hídricos, temas que são vitais para reforçar a importância dessas águas. É necessário salientar ainda, que esta edição é uma revisão do livro “Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul, dos mesmos autores, publicado no ano de 2004.

O Aquífero Guarani é estratégico para a Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Seu próprio nome embute a ideia de união, visto que o povo Guarani habitava a região em uma época que não havia fronteiras e a água era vista como um tema central e integrador em sua cultura.

Agora, essas águas voltam a ter um papel integrador para os países do Mercosul. Acima das questões políticas, econômicas e diplomáticas, as rochas e águas que compõem o aquífero ocorrem de fato na Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai e, no decorrer dos últimos anos (e principalmente na última década), vêm unindo pesquisadores dos quatro países com o objetivo único de preencher as lacunas do conhecimento sobre suas características hidrogeológicas.

A discussão sobre esse reservatório despertou, principalmente, o interesse pelas águas subterrâneas até então colocadas equivocadamente num patamar inferior ao das águas superficiais. As águas subterrâneas fazem parte do ciclo hidrológico, constituindo uma parcela da água precipitada e desempenhando papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. Juntamente com as águas superficiais, as águas subterrâneas entram na contabilidade geral das disponibilidades hídricas e a gestão de ambas deve estar integrada.

Além disso, as águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios como, por exemplo: são filtradas e purificadas naturalmente, dispensando tratamentos prévios; não ocupam espaço em superfície; são passíveis de extração perto do local de uso; necessitam de custos menores como fonte de água e possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade.

Apesar de estudos recentes desmistificarem aspectos que foram equivocada e amplamente divulgados, seguramente, em um futuro muito próximo, o Aquífero Guarani deixará de ser apenas um gigantesco reservatório de água de excelente qualidade, escondido sob a crosta terrestre, para se tornar parte integrante e fundamental dos debates e das ações voltadas para o desenvolvimento socioeconômico e para a integração dos países de sua abrangência.

A falta de consciência da sociedade com relação à vulnerabilidade dos recursos hídricos, aliada, seguramente, à má gestão dos mesmos, dificulta a sua preservação. Daí a relevância de uma obra como esta. Este trabalho representa fonte de informação, tornando-se importante instrumento na consulta sobre os recursos hídricos, para entidades públicas e privadas, estudantes, pesquisadores e para a sociedade em geral, uma vez que contém conceitos básicos que facilitam a compreensão do assunto para aqueles leitores não familiarizados com o tema.

Jorge Samek
Diretor-Geral da Itaipu Binacional

THE INTEGRATION OF WATERS Revealing the True Guarani Aquifer

Chapter 1 Water Availability and Use

Water is one of the elements regulating the equilibrium of the natural global system. This system is determined by the relations that exist between the biosphere, the atmosphere, the lithosphere and the hydrosphere, through which water moves thanks to its capacity for changing its physical state in a permanent cycle, conditioned by the relations of life and by the activities produced by human beings and nature. However, life cannot exist without water. Alternatively, in places where water is found, conditions for the vital processes of development are given.

International organizations are constantly discussing the disorganized growth of populations and the growing demand for water, which means that changes to standards of human conduct and habits in relation to its use and conservation are indispensable, as well as reducing the waste and losses generated by deficient supply and irrigation systems (DPI, 2002).

Approximately 70% of the Earth's surface is covered by water with an approximate volume of 1,385,984,610 km³ (FUNDACIÓN CANAL, 2003). Salt water accounts for 97.5% of this figure with only 2.5% being fresh water (SHIKLOMANOV, 1999), that is: 1,351 billion km³ and 34,6 million km³, respectively.

The hydrological cycle and the continuous movement of the waters and their changes in physical state by terrestrial spheres, taking place in a situation of equilibrium, without mass gains or losses to the system, account for a total annual volume of 577,000 km³ of water, with the amount of water involved in evaporation being equal to the volume of rainfall (UNESCO/IHP, 1998).

From the total volume of fresh water (34,6 million km³) on the planet, approximately 30.2% (10,5 million km³ - groundwaters, rivers, lakes, swamp, surface humidity and atmospheric vapor) which may be used for vegetal and animal life on surfacing lands, since 69.8% (24,1 million km³) is found in the polar icecaps, glaciers and frozen lands. From

the 10,5 million km³ fresh water, approximately 98.7% (10,34 million km³), corresponds to groundwater, and only 0.9% (92,2 thousand km³) corresponds to the volume of surface fresh water (rivers and lakes), directly available for human demands.

The average quantity of renewable water (rain and drainage) of the planet is estimated at being 44,800 km³/year and is highly variable over space and time, giving a very irregular distribution in all regions, meaning that water resources are frequently not available when, and where, necessary. Some areas can count on vast quantities of water, while others have next to none availability. In addition to natural climatic variations, the number of inhabitants in a particular region and the economical activities of humans also influence the distribution of water resources in a region (SHIKLOMANOV, 1999).

The last few decades have seen the characteristics for quantity and quality of water resources affected by a complex system of anthropological impacts (irrigation; soil use; fertilizers; toxic chemicals; erosion; deforestation; industrial, agricultural and domestic pollution; waste; etc.). Due to the rapid increase in population during the period from 1970 to 1994, the potential of water availability decreased from 12,900 to 7,600 km³/inhab/year (SHIKLOMANOV, 1999).

The water availability in all continents tends to decrease more and more, supporting the real necessity for the consumption system to be reversed and for an immediate solution to be rapidly found for the problem (GONÇALVES et al., 2001). The awareness of the society and its participation in the preservation of water resources, associated with the control in population growth, may represent in the short term, prioritized measures to avoid the lack of water in the coming years.

The management of groundwaters linked to surface waters is indispensable, since they both possess an inter-relationship in the liquid phase of their hydrological cycle. Therefore, they may only be considered as being water in their surface and underground phases, as both are part of the general accounting of available water resources (DRM, 2003).

South America and Asia have the highest potential water resources of the world with 12,380 and 11,657 km³/year, respectively, followed by North America with 6,662 km³/year and Europe with 6,619 km³/year (FAO, 2009). The lowest potentials are found in Africa, Oceania and Central America (3,936; 1,722 and 781 km³/year, respectively). However, the largest volumes of renewable water resources in the world are located in seven countries: Brazil, Russia, Canada, China, Indonesia, Colombia and United States of America, representing 58.5% (25,580 km³/year) of the total renewable freshwater resources in the world (43,756 km³/year).

The social water availability, representing the quantity of water available per year per person (m³/inhab/year), is the criteria most often used when evaluating the availability of

renewable water in a region. In the year 2006, Oceania was the continent with the highest availability rate (51,033 m³/inhab/year), followed by South America (32,703 m³/inhab/year), North America (15,089 m³/inhab/year), Central America and Caribbean (9,845 m³/inhab/year), Europe (9,056 m³/inhab/year), Africa (4,175 m³/inhab/year). Asia, second in renewable water resources, presented the lowest availability rate per capita (2,927 m³/inhab/year), due to its dense population.

In the year 2006, 69% of the world population was living in a hidric situation under 5,000 m³/inhab/year, principally in african, middle east and caribbean countries. The regions of the world with the most hidric vulnerability are North Africa and the Middle East, of which three (Tunisia, Algeria and Liberia) and eight (Oman, Israel, Yemen, Jordan, Saudi Arabia, Qatar, Arab Emirates and Kuwait) are threatened countries, respectively (UNESCO, 2003).

The richest countries of water availability per year per inhabitant are: French Guiana, Iceland, Guiana, Suriname, Congo, Bhutan, Papua New Guinea, Gabon, Solomon Islands, Canada and New Zealand. The poorest being: Kuwait, United Arab Emirates, Bahamas, Qatar, Yemen, Saudi Arabia, Libyan Arab Jamahiriya, Maldives, Malta, Singapore, Bahrain and Jordan.

Water consumption varies from region to region and depends on the availability of access and cultural aspects, among other items. According to data from the Food and Agriculture Organization - FAO (2009), in the year 2003, the annual world consumption of water stood at 3826,7 km³, with 69.9% (2674,6 km³) destined for the agricultural sector, 19.9% (763,6 km³) for industry, and only 10.2% (388,5 km³) for domestic use (human consumption, sanitary use, municipal urban services).

Asia is the continent that consumes the most water in the world. In the year 2000 the volume of water consumed in this continent was 2425,9 km³/year, corresponding to 63.3% of total consumption. Following this came North America (15.6%), Europe (9.7%), Africa (5.6%), South America (4.3%), and finally Oceania and Central America/Caribbean with practically the same percentage (0.7% and 0.6%, respectively) (FAO, 2009).

The countries that consume most water in the world are India (645,8 km³/year or 645 trillion liters/year), China (630,3 km³/year), Pakistan (169,4 km³/year), Japan (88,4 km³/year), Thailand (87,1 km³/year), Indonesia (82,8 km³/year) and Bangladesh (79,4 km³/year) in the Asia; United States (479,3 km³/year), Mexico (78,2 km³/year) and Russia (76,7 km³/year) (WRI, 2009).

The WHO (World Health Organization) recommends an average of 80 liters of water per day for a person to reasonably sustain a good level of life (ÁGUAS & ÁGUAS, 2003). According to a study by Falkenmark e Widstrand (1992) in Lanna (2001), the minimum amount of water necessary for a person to meet domestic and health necessities would be 100 liters per

day. According to Rodrigues (2000), the minimum amount of water for a reasonable life would be 1,500 m³/inhab/year.

In the year 2000, the continent with the highest consumption per capita is North America with 1,453 m³/inhab/year, followed by Oceania and Asia (897 and 644 m³/inhab/year, respectively). The Europe has values of 585 m³/inhab/year and South America has values of 472 m³/inhab/year, with Central America/Caribbean and Africa being the countries with the least consumption per capita (328 and 261 m³/inhab/year, respectively). The consumption per capita in the world in the same year was 628 m³/inhab/year (WRI, 2009).

Data from the WHO (2010) shows that 887 million people (13% of total population) in the world did not have good quality fresh water available and more than 2,6 billion (39% of total population) did not have basic sanitation available, in 2008, with the majority of people living in Asia and Africa.

The continents least favored by water available for human consumption are Asia, Africa and Europe. Despite Latin America having the best conditions for water resources, it is encountering problems with a lack of this resource due to bad distribution, caused by bad management (GONÇALVES et al., 2001).

It is estimated that approximately 3,3 billion people from the projected world population for 2025 may be living under very low conditions of water availability (< 1,500 m³/inhab/year), while at the same time, the largest availability of social water resources, will be in Northern Europe, Canada, Alaska and nearly all of South America, Central Africa, Siberia, the Far East and Oceania (SHIKLOMANOV, 1999). By 2050, approximately 6,3 billion people from the projected world population in 66 countries may be living under conditions of very low water availability (< 1,500 m³/inhab/year).

Chapter 2 Groundwaters and Aquifers

Groundwaters refers to all the water that occurs below the earth's surface, filling the pores and inter-granular spaces of sedimentary rocks, or fractures, faults and cracks of compacted rocks (REBOUÇAS, 1996), which is subjected to two forces (adhesion and gravity) and plays an essential role in the maintenance of soil humidity, river, lake and swamp flows (DRM, 2003).

Groundwaters fulfill one phase of the hydrological cycle, since they constitute a part of the water from rainfall. Part of the rainfall that hits the soil infiltrates and passes through the inner portion of the subsoil during periods of different extremes (SILVA, 2003). During infiltration, part of the water under the action of adhesion force or of capillarity, remains in

the regions nearest to the surface of the soil, with this being the most saturated area. Another part, under the force of gravity, goes to the deepest area of the subsoil, making this the most saturated area.

The chemical composition of the groundwater is a combined result of the composition of the water that enters the part yielding water and from the chemical evolution directly influenced by the rocks that it passes through, that is, the level of substances dissolved in groundwaters increases according to the extent of its movement (SMA, 2003). The quality of groundwater depends on the cleansing of this water via a series of physical-chemical and bacteriological processes that act upon it, modifying its previously acquired characteristics and making it much more adequate for human consumption (SILVA, 2003).

Groundwater has some characteristics that make its use more advantageous than river water: it is naturally filtered and purified by the percolation, attaining excellent quality and eliminating the need for previous treatment; it does not occupy surface space; suffers less influence due to climatic variations; is able to be extracted near to the location of use; has a constant temperature; has larger reserves; costs less as a water source; is a reservoir and catchment area without occupying surface area; is protected against polluting agents; the use of this resource increases the reserve and improves its quality; it permits implantation of a supply project tailored to the requirements.

Groundwater distribution is as variable as that of surface water, since they interact in the hydrologic system and depend on climatic conditions. However, groundwater is approximately 100 times (10,360,230 km³) more abundant than the surface water found in rivers and lakes (92,168 km³). Even though the water is located and stored in the small rock pores and fissures, this takes place on a large scale generating great quantities of groundwater reaching approximately 23,400 km³, distributed over an area of approximately 134,8 million km² (SHIKLOMANOV, 1998), making this an important reserve of fresh water.

Some specialists say that the quantity of groundwater could reach 60 million km³. This could, however, be impossible to use due to being located at a great depth. As a result, the possible quantity capable extracted would be at a depth of less than 4,000 meters, and assume a volume of about 8 to 10 million km³ (CEPIS, 2000), that, according to Rebouças et al. (2002), would be distributed as follows: 65,000 km³ in soil humidity; 4,2 million km³ from the non-saturated area to a depth of 750 m; and, 5,3 million km³ at a depth of between 750 m to 4,000 m represented by underground spring areas.

In Brazil, groundwater reserves are estimated as being 112,000 km³ (112 trillion m³) with the multi-average contribution from discharge into rivers about 2,400 km³/year (REBOUÇAS, 1988 in MMA, 2003). Not all geological formations possess the same hydrodynamic characteristics allowing the economical extraction of groundwaters meeting medium and

large sized discharge points. Discharge points already found in Brazil vary from as little as 1 m³/h to more than 1,000 m³/h (FUNDAJ, 2003). In Argentina, the multi-annual discharge average is about 128 km³/year, 41 km³/year in Paraguay and 23 km³/year in Uruguay (FAO, 2000).

According to Leal (1999), practically all countries in the world, whether developed or not, use groundwater to meet their necessities. UNESCO estimated that more than 50% of the world population could have been supplied by groundwater in 1992. In the year 2000, approximately 2 billion people (1/3 of total world population) have been depended of groundwaters (PNUD et al., 2000, in PNUMA, 2004). The number of wells drilled in the world during the last three decades is estimated as being 300 million (UNESCO, 1992 in REBOUÇAS et al., 2002), 100 million of which are located in the United States, where approximately 400 thousand wells are drilled each year with an extraction of more than 120 billion m³/year, meeting 70% of the public and industrial supply needs.

The permeable rocks that are able to store and transmit groundwaters within their pores and fractures are called aquifer.

There are three primary types of aquifer rock in existence, according to the porosity: sedimentary; fractured and karst. In relation to their upper surface, (according to the water pressure), there may be two types of aquifer: free or phreatic and confined or artesian.

Aquifers have a permanent water reserve and an active or regulating reserve that supplies them on a constant basis. The supply area is called the recharge area and can be direct or indirect. The water flow of the aquifer takes place in the discharge area. The regulating reserves correspond to the flow of the river base. Exploitable reserves correspond to the volume of water that may be annually extracted from the aquifer, without entailing undesirable results.

Aquifer plays an important part in the hydrological system and as a water resource, fulfilling different functions (REBOUÇAS et al., 2002): production; storage and regulating; filtering; environmental; transport; strategic; energetic; maintainer of the river base flow.

The most important aquifers in the world, whether by length or due to transcending national boundaries, are: Nubian Sandstone - Libya, Egypt, Chad, Sudan (2,1 million km²); Great Artesian Basin - Australia (1,7 million km²); Guarani - Argentina, Brazil, Paraguay and Uruguay (1,2 million km²); Serra Geral - Argentina, Brazil, Paraguay and Uruguay (1,1 million km²); Solimões - North Brazil (457 thousand km²); Ogallala - United States of America (453 thousand km²); Murray Basin - Australia (297 thousand km²); Kalahari/Karoo - Namibia, Botswana, South Africa (135 thousand km²); Digitalwaterway vechte - Germany, Netherlands (3,7 thousand km²); Praded - Czech Republic and Poland (3,3 thousand km²); and Slovak-Karst-Aggtelek - Slovakia and Hungary. Recent findings by UNECE in Europe have shown

that more than 100 transnational aquifers exist in this continent (ALMASSY & BUZAS, 1999 in UNESCO, 2001).

A great diversity of aquifers and water quantities of different chemical characteristics exist in Argentina, with the most important being the Guarani. In addition to the Guarani, a thermal aquifer exists in the Chaco-Paraná Basin, located near the borders of Brazil, Paraguay and Uruguay, made up by the Sachayoj-Charata-Chacabuc formations (PESCE & JOHANIS 2000). Paraguay possesses the aquifers with the most potential that may contribute with streams exceeding 50 m³/h: Chaco-Yrenda (Tertiary-Quaternary) of sedimentary formation and Adrián-Jara and Alto-Paraná, both of the Cretaceous era and with a fractured formation (GODOY & PAREDES, 1995). The main aquifers of Uruguay presenting the best conditions for exploitation and water quality are: Tacuarembó (Guarani), Raigón, Salto and Mercedes (FAO, 2000).

Groundwaters in Brazil occupy different reserves, from fractured areas of crystalline bases to Cenozoic sedimentary deposits (sedimentary basins), meeting in three aquifer systems: sedimentary, fractured and karst (LEAL, 1999). The combination of these geological structures with Brazilian geomorphologic and climatic factors resulted in the configuration of 10 hydro-geologic regions: the Sedimentary Basins - Amazonas, Paraná, Parnaíba-Maranhão, Central-West, Coast and São Francisco, and the Escudo - North, Central, West and South of São Francisco. The Paraná Geological Basin is without a doubt the most important of Brazil, with approximately 45% of groundwater reserves of the national territory, this due to its capacity for storing and releasing large quantities of water and due to the fact that it is located near the most populated and economically developed areas of the country, besides possessing the largest volume of sub-surface fresh water, with a reserve of approximately 50,400 km³ water. Brazilian aquifer systems store important excess water reserves, feeding one of the longest networks of perennial rivers in the world, as well as the temporary rivers that are born near the geological emerging basement rocks of the semi-arid Northeast region (REBOUÇAS et al., 2002) and, even play an important socio-economical role due to their hydric potential (MMA, 2003).

The annual extraction of aquifers is estimated as being 160 billion cubic meters or 160 trillion liter tons in the world, being excessive in China, India, Saudi Arabia, North Africa and the United States (POSTEL, 1999 in BROWN, 2003).

Groundwater sources are believed to be relatively better protected against contaminating agents that rapidly affect the quality of river water, in relation to that which occurs in a non-saturated area (free aquifer) or is protected by a layer that is relatively impervious (confined aquifer) (REBOUÇAS, 1996). Even so, this is open to environmental impacts such as, (CPRM, 2002): contamination by polluting agents; super-exploitation of aquifers that may lead to the aquifer exhaustion; the induction of contaminated water caused by the dislocation of pollution

from the mantle plume to locations of the aquifer; the soil subsidence and the advance of saline wedge (salinization of the aquifer).

It is important to understand the availability of aquifer systems and the quality of their waters when establishing a policy for the management of groundwaters (LEAL, 1999).

Chapter 3 The Guarani Aquifer

The Guarani Aquifer covers an area of nearly 1,2 million km². It is inserted in the Sedimentary Geological Basin of Paraná, located in Brazil, Paraguay, Uruguay and Argentina, and constitutes a main groundwater reservoir in South America (OEA, 2001).

The fact that the Guarani is geographically located between the four countries of the MERCOSUL means that it is of extreme importance due to being a hydric spring, which should be rationally used in order to maintain it for future generations.

According to Danilo Antón (personal communication, 2003), the designation of the name Guarani to the aquifer is not only homage, but also a humble intention to begin reclaiming human values and the rich culture of this historical nation, the ancestral base of our Creole and national societies.

The current population in the Guarani aquifer area is approximately 34,3 million inhabitants. The population in outcropping areas is approximately 11,3 million people (32.9% of the total).

The area of the Guarani in Argentina is 225,500 km², equivalent to 19.2% of the total area of the aquifer and only 8.1% of the Argentinean territory. The areas where the aquifer is located are Misiones, Corrientes and Entre Ríos. The population that lives on the Guarani area is approximately 2,6 million people. The limits of the Guarani in Argentina are not completely defined, especially in the western direction.

Paraguay has 17.6% of its total surface area covered by the Guarani (71,700 km²), equivalent to 6.1% of the total aquifer area of the four countries. The territories covered by the Guarani are Concepción, Amambay, San Pedro, Canindeyú, Alto Paraná, Caaguazú, Caazapá, Itapua, Guairá, Ñeembucu and Misiones. The outcroppings occupy an area of approximately 46,211 km² (ANA, 2001), equivalent to 64.5% of the total aquifer area of this country, continuously bordering the outcropping area of the basaltic ridges from Cordillera de Amambay (in the north) to the city of Encarnación, in the south (OEA, 2001). The population of the area covering the Guarani is approximately 2,4 million inhabitants, with 1,6 million people living on the outcrops.

Uruguay has the smallest area of the Guarani - 58,500 km² (5.0%), in relation to other

countries, however this is equivalent to 33.4% of the total aquifer area of this country, covering the Artigas, Paysandú, Salto, Rivera, Tacuarembó, Durazno and Rio Negro territories, with an approximate population of 578,7 thousand people. The outcropping covers an area from north to south, in the central territory of Rivera and Tacuarembó, with an approximate length of 3,197 km² (ANA, 2001), corresponding to 5.5% of the total uruguayan aquifer area. The resident population of the Guarani in the outcropping area is about 145 thousand inhabitants.

The country with the largest part of the Guarani is Brazil, equivalent to 9.6% (820,618 km²) (ARAÚJO et al., 1995) of its national territory, spread over the subsoil of eight states (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul) with a total of 69.8% of the total aquifer area, and an approximate population of 28,7 million inhabitants, distributed in 1,527 municipalities (27.4% of Brazilian municipalities). The population of the outcropping area is approximately 9,5 million inhabitants distributed in 331 municipalities. Only one capital, Campo Grande, in the state of Mato Grosso do Sul, is situated on a Serra Geral Formation, overlying the Guarani Aquifer. The outcropping area is approximately 97,142 km², equivalent to 11.8% of the total area of the national territory aquifer. The Brazilian state with the most area of Guarani is Mato Grosso do Sul (26.0%), followed by Rio Grande do Sul and São Paulo, both with approximately 19%; Paraná with 16.0%; Minas Gerais and Santa Catarina both with approximately 6%. The state with the least area is Mato Grosso (0.9%).

From the total area of 1,176,318 km², 12.5% (146,550 km²) is represented from outcropping areas. Brazil has 66.3% of outcropping area; Paraguay has 31.5% and Uruguay has 2.2%. Outcropping areas have so far not been identified in Argentina.

The Guarani area is characterized by having the most important areas of cattle raising and farming of each country. Furthermore, the region is characterized by fertile lands and soils with high levels of productivity where various cultures are developed, such as soy, corn, wheat, barley, sugar-alcohol, etc., with excellent potential for raising and slaughtering various cattle breeds, in addition to a variety of industries highlighted by the automobile industry and those benefiting from cattle breeding products (agro-industry - refrigeration - dairy products).

The Guarani Aquifer is made up by various arenaceous predominant rocks, which form sediments in lacustrine, fluvial and eolian origin environments from Triassic and Jurassic times. These rocks, saturated with water, are found underground in nearly all of its areas by the basaltic rocks that form the Serra Geral, at a thickness that can surpass 1,000 m. The Triassic strata are found at the base of the aquifer and correspond to the correlated units of the Piramboia and Rosário do Sul formations in Brazil and Buena Vista, in Uruguay. The Jurassic strata are found at the top of the aquifer and correspond to the correlated unit of the Botucatu formation (in Brazil), Misiones (in Paraguay) and Tacuarembó (in Uruguay and Argentina).

The Guarani is a sedimentary aquifer (water is stored in the pores of its rocks) and basically a confined aquifer having 90% of its total area covered by thick layers of basaltic rock of Serra Geral Formation (as called in Brazil, receiving the name of Alto Paraná in Paraguay and Arapey in Uruguay (REBOUÇAS & AMORE, 2002a) and Curuzú Cuatiá in Argentina (KITTL, 2000). Underlying contact is made by a sequence of sedimentary Paleozoic rocks from the Geological Basin of Paraná. These rocks are represented in Brazil by the Estrada Nova, Corumbataí and Rio do Rasto Formations (in the north of the basin) and by the Sanga do Cabral Formation (in the south of the basin). In Paraguay, the rocks are represented by Independência and Tacuary Formations, in Argentina and Uruguay by the Buena Vista Formation (LEBAC/UNESP, 2008), and Victorino Rodrigues Formation only in Argentina (REBOUÇAS & AMORE, 2002a).

The approximate figure for the total area close to the surface is only 10%, in the form of long outcropping strips, exposing the sandy rocks with a width of about 10 to 100 km along the margins of the Sedimentary Basin of Paraná.

According to ARAÚJO et al. (1995), the total thickness of the Guarani Aquifer varies between values exceeding 800 meters to areas completely lacking in thickness in the internal basin area (Muitos Capões, Rio Grande do Sul). The areas of minimum thickness can be found in the region of the division between the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul (approximately 70 to 100 m). The thickest area of the aquifer can be found in the region of Campo Grande (Mato Grosso do Sul), with heights passing 600 m and in the region of Alegrete (Rio Grande do Sul), with values over 800 m.

Natural conditions are imposed by the confinement of the aquifer (artesian) beginning from a distance of some 20 to 40 kilometers from the outcropping area. The exploitation of water by deep wells allows for extraction to be performed by units withdrawing up to 1,000,000 liters/h (1,000 m³/h), as in the Pereira Barreto, São Paulo (GUALDI, 1999).

The Guarani Aquifer System hydrogeological framework can be represented by a series of compartments which are resultant from the geologic faults and intrusions of dolerite dykes and each compartment can be different from another. Isotopic analysis from water samples collected in the study area result that the Guarani Aquifer System water age are over 20,000 years.

Natural recharge water on Brazilian territory is estimated as being approximately 26 km³/year, while indirect recharge accounts for 140 km³/year, making a total of 166 km³ that annually enters the water source. The exploitation potential is estimated as being 40 km³/year (25% active reserve), without risk to the aquifer (REBOUÇAS, 1976).

In the bigger confined areas, the waters are not adequated to the human consumption, without previous treatment, due to increased salinity, fluorine and sulfate content, such as

took place in a well drilled in the city of Londrina, (Paraná State) that had fluorine levels of 12 mg/L (OEA, 2001).

The chemical action of the Guarani waters varies widely, mainly in confined areas, whether by the effects of the various formations, or by the influence of mixtures induced by tectonic fractures. As well as these factors, which are seen particularly in confined areas, anthropological factors from the surface outcropping areas can also be added, since they are therefore more vulnerable (OEA, 2001).

The waters of the aquifer possess various classifications from a physical-chemical viewpoint, ranging from magnesium-bicarbonate to calcic-magnesium in the free area of the aquifer, bicarbonate-calcic and calcic-magnesium when mixed with the waters of the Serra Geral Formation, and sodic-bicarbonates changing to sulfate-chloride-sodic in the most confined areas of the aquifer (SILVA, 1983).

According to Araújo et al. (1995), the isotherms of the aquifer are, in general terms, distributed according to the temperature gradient equivalent to 29°C/km and outline a high temperature flume that has the same configurations as the structural flume (MENTE, 2000). The gradient determines very high temperatures, generally between 30°C and 68°C, with the average temperature between 25°C to 30°C. The 70°C maximum temperature was recorded in the municipality of Cianorte (Paraná), at a depth of 1,565 m. The geometrical energy of the Guarani Aquifer is estimated as 280 MW year/km², representing significant energetic potential (HAMZA et al., 1978 in CHANG, 2001). The Guarani is estimated as having a potential production of thermal water above 38°C, over approximately 380,000 km², equivalent to approximately 45% of the area that covers Brazil, or about 30% of the total extension. For production of water at higher temperatures, superior to 60°C, the total production area is restricted to not more than 30,000 km², about 4% and 3% of the Guarani extension in Brazil and the Southern Cone area respectively (CHANG, 2001).

The most intensively exploited waters of the Guarani are concentrated in Brazilian territory and have very diversified uses, while in other countries the main use is based on hydrothermal activities for purposes of recreation and hydrotherapy (CALCAGNO, 2001).

In relation to the sustainability of usage in terms of quality, the biggest problem may take place in the outcropping areas lacking sanitation and where the resource is used to supply the population (GREGORASCHUCK, 2001). The main risk factor in using the groundwaters comes from the large number of shallow and deep wells that are constructed, operated and abandoned without sufficient technology, due to the lack of control and verification at the federal, state and municipal levels (ABAS, 2002). Studies have shown that the waters of the Guarani Aquifer are still free from contamination. However, considering the fact that the recharges areas coincide with important Brazilian agricultural zones, where herbicides are

used intensively, urgent control, monitoring and reduction in the use level of agro-chemicals will become necessary.

Another danger related to the exploitation of the water from the Guarani comes from its uncontrolled and excessive use, mainly in artesian areas, where rigid controls are necessary in order to avoid water wastage and a consequent loss in the internal pressure of the system, which would cause damage to other local users of the outpouring spring.

Chapter 4 The Guarani Aquifer in the Social-Economical Development of its Area

The relevant aspects of the Guarani Aquifer, such as its extension of its volume; its transnational basis including four countries of the MERCOSUL; the enormous potential of its waters for the thermal use with various applications generating socio-economical development; the lack of culture in the exploitation of its groundwaters with the consequent common restriction related to the potential in terms of volume in geothermal uses; the concern related to the possibility of the resource being overexploited leading to its possible contamination and degradation, as well as its environmental importance in outcropping areas, have all led to increased interest in this water source.

The Guarani Aquifer may play an important role as a strategic reserve in specified areas and as an “instrument” of social-economical development of the surrounding area, due to the near unique qualities it possesses on the worldwide comparative scale, such as the potability of its waters and the increase in thermal activities.

In general terms, the use of the thermal waters may serve as a principal or complementary raw material in agro-industrial, industrial or tourism activities, that is, the waters of the Guarani could be used in activities that require higher temperature levels (above 68°C), providing energy savings related to water heating and even as regards obtaining water at an ideal temperature for particular activities. Furthermore, the waters could be used for a wide range of activities during the cooling stage. This is understood as being the most rational manner of using the resource.

Among the various uses for the water drawn from the aquifer and the possibility of increasing other modes that favor the implantation of businesses in the region, the basic areas are related to public supply services, industrial and agro-industrial development, and the development of tourism with the installation of hydrothermal resorts.

The following items could be mentioned in relation to industrial and agro-industrial activities; temperature control in certain areas – air conditioning, for example; wood drying;

drying and dehydration of vegetables and fruits; barley fermentation for beer production; bottled water production; methane production; temperature control for incubators and poultry; cultivation greenhouses; protection against frost combined with irrigation; storage and drying of grains; refrigeration of fruit and other agricultural products and foods in general; evisceration and burning of poultry; heating for animal rearing pens; water related items; washing of animal carcasses; burning and boiling of skulls and hooves, bones and animal skins slaughtered in refrigerating areas; evaporation of highly concentrated solutions; flour drying; fertilizer production; preparation of dairy products; sterilization; distilling; intense defrosting operations; biodegradation, among other items (OEA, 2001).

One of the oldest and most widespread uses of thermal resources in the world is that related to swimming and balneotherapy. In recent years, the tourism industry has witnessed a large growth in this type of “health tourism” representing an important market sector. There are many examples of private enterprises in Brazil, Argentina and Uruguay, whose main aims are related to that of hydrothermal tourism.

In relation to the great hydrothermal potential of the Guarani, the north and east of Paraná and Santa Catarina, and the northeast of Rio Grande do Sul with the eastern regions of Argentina and the northeast of Uruguay could be of great importance to the development of thermal tourism centers, producing the main hydrothermal “corridor” of the MERCOSUL.

Due to the great differences in use of the Guarani waters among the countries that have access to this resource, it is evident that Brazil’s necessities in relation to the aquifer are related more to the protection and sustainable maintenance of this resource, while other countries need to perform research in order to better understand the system in their territories (OEA, 2001). The lack of knowledge is, however, related to all four countries. In addition to studies dedicated to understanding the characteristics of the Guarani, many other investigations must be conducted to determine the real potential and the correct management of this water source in order to make it economically viable and self-sufficient.

A substantial increase in consumption of the waters of the Guarani is expected by the year 2025, resulting from population growth and production of goods. In terms of countries, the use of the aquifer may be limited on a natural recharge basis and the expectations for an increase in use over the next 25 years will not affect the sustainability of the resource on a large scale. There is no doubt that following a more detailed analysis, regions of conflict from intensive local exploration will be identified, such as the case of Ribeirão Preto in São Paulo (CALCAGNO, 2001).

One of the current problems pertains to the exploitation of waters from the Guarani and the risk of the aquifer deteriorating as a result of the increase in the volumes used and from the growth and diffusion of pollution points (ARAÚJO et al., 1995), already making the

implementation of management and protection policies a matter of urgency. The uncontrolled use of the Guarani Aquifer, without regulations, may change the current status of the reserve, strategic for fresh water use in the MERCOSUL, to that of an area of generalized degradation and conflicts between countries (ÁGUAS & ÁGUAS, 2003).

Protected areas should be established in locations where the aquifer outcrops, resulting from the transfer times (non-saturated and saturated areas) in order to determine the susceptibility of the aquifer when affected by a particular contaminant (vulnerability).

The term “hydro-diplomacy” may be one of the most important worldwide themes. Courses and bodies of water were used as frontiers in the past, and in other situations they cross the frontiers. With humanity projecting itself “without frontiers”, the said courses and bodies of water should be used for large-scale agreements at the present time, helping to ensure that their use and control by society is performed in a correct manner. The various aquifers that cross frontiers are included in this case, together with the reserve-rocks of the Guarani Aquifer.

It is important to highlight that various countries have different environmental protection measures. The same can be said regarding the exploitation of a resource that crosses frontiers, such as the Guarani, aggravated by the fact that exploitation without criteria may affect the quantitative potential and the quality of its waters.

The authors of this book believe that concrete measures are currently necessary, together with specific rules and legislation for rational use of the Guarani resources. The measures need to be discussed in a common forum, that is, MERCOSUL, mainly focused on the following items: rational use and sustainable development with social-economical and environmental viability for public, agro-business, industrial and thermal tourism supplies; implantation of an interlinked monitoring system for water resources of the Guarani aimed at exchanging information, the control and shared management of the resource; implantation of an integrated social-environmental responsibility system for use of water resources from the Guarani.

The authors also believe that information should be made available by the mass media to present the importance of the strategic use of the resource to the general public, aimed at making people more aware of its potential and rational exploitation in a manner that will ensure the social-economical development and environmental preservation.

Finally, the authors recommend that the above mentioned actions should be implemented and followed by a “Guarani Management Committee”, with administrative and institutional regulations, formed by representatives from the four countries. This committee would be responsible for preparing a “Plan for Rational Use of Water Resources of the Guarani” and the administration of a “Social-Environmental Responsibility Fund”, whose resources would be financed by the use of waters from the Guarani (from the user), applied to the performance of social work in the regions where the business venture is located, and in

environmental recovery operations (in cases of pollution and degradation). The users would be contributing to the social and economical development of their investment regions by generating employment and social works that, despite being under the responsibility of the state, do not exclude the user from participating at the social level of the region.

The implantation of legislation and rules contemplating the interests of Brazil, Argentina, Uruguay and Paraguay on the use of the Guarani Aquifer will ensure that this natural hydric reserve is managed in a sustainable manner. This “step” represents an important advance in the cooperation between Latin American countries and in the consolidation of the MERCOSUL Agreement.

Chapter 5 Conclusions

We live in a world in which environmental degradation takes place daily – a world that is challenged by greenhouse effects, deforestation, and the pollution of air, soil, and water. This degradation is increased as nearly 80 million people are added annually to the world population and claim their rights over Earth’s natural resources.

Industrial development, urbanization, and the demand for water for irrigation to feed an increasing population have exerted intense pressure on hydric resources, posing a threat to human development. This pressure leads to ecological stress, given that the remaining hydric volume for the maintenance of ecosystems has become increasingly smaller, leading several of them to the point of collapse. This is the inheritance that will be left for future generations.

The effects caused by climate change are compounded with hydric pressure, causing a strong impact on the distribution of water throughout the planet due to changes in the pattern of water runoff and increasing water evaporation. The predicted scenarios of climate change point to an increase in short-term water flux, followed by drier climates on the long run.

Therefore, it is no longer inconceivable to believe that the world is moving toward a water deficit while 70% of its surface is covered with water. If one realizes that the planet has a constant amount of water (which has been nearly unchanged for the past 3 billion years) for an increasingly larger number of people, and that these same peoples pollute rivers, excessively deviated water from river and aquifers for agriculture, drying the courses of the former and decreasing water levels in the latter, one can start to realize that water is not an infinite and inexhaustible resource.

In addition, one is faced with the irregularity in the availability (distribution) of hydric resources throughout the planet, which is still conditioned by the socioeconomic characteristics of each region, i.e. the availability of water does not necessarily mean that it is available in the

quantity and quality necessary for human populations. In many regions of the world, the low availability of water has little to do with water scarcity. That means that a government, making use of power, politics, and money, can take water to the population even in a region where it is naturally scarce; conversely, a government without power or money can lead to water deprivation, even in regions with high hydric potential.

There are also many regions throughout the world where those that consume water pay less, whereas those that consume less, pay more. Low-income urban populations, that are “off the grid”, frequently are forced to resort to alternative supply methods, such as water sellers, which can charge much more than consumers pay for tap water.

The increasing pressure to reallocate water from agriculture to the industry threatens to increase rural poverty, given that water is a crucial productive resource for small farmers (those that depend on subsistence agriculture), which represents half of the world population. That indicates that hydric shortage is intimately related to social inequalities and even contributes for their intensification, particularly in developing countries (PNUD, 2006).

On the other hand, it is safe to affirm that hydric scarcity also means food scarcity, given that water is the main ingredient of irrigated agriculture. As water is reallocated to meet the demands of cities and industries, there is an ensuing loss in the capacity for food production and causing nations to be more dependent on grain imports, thus elevating their prices in the global market. Still, grain imports has become an efficient way to transport, given that 1 ton of grains corresponds to a thousand tons of water, which can be redistributed for household and industrial uses.

The large number of rivers that are shared between two or more countries, together with the increasing water scarcity for increasing populations, leads many politicians and scientists to warn about future “hydric wars.” This situation is worsened when one observes the considerable disparity in population income between the headwaters and the mouths, as is the case in the Nile and the Yellow rivers. The most critical areas for a hydric conflict are the regions of the Aral sea and the Ganges, Jordan, Nile, Congo, and Tiger/Euphrates.

It is an obligation of the State to provide at least the minimum volume of potable water and a sewage system necessary for a good health, such as the entire population, without any distinction, and especially without the costs for those that cannot afford them.

The Millennium Developmental Goals for 2015 established a 50% reduction in the proportion of people without access to potable water and an adequate sewage system. To meet these new commitments, water services will have to reach an additional 550 million people, and adequate sewage system should be provided for 1.3 billion people until 2015 (UN General Assembly, 2000). Globally, that will require less than 1% of the current extractions across the globe.

An increased awareness in society as a whole is necessary for adequate water use. Even more importantly, that awareness should be followed by changes in behavior patterns and habits by individual consumers with respect to its use and conservation – avoiding excesses – which would mean the differences between rational use and rationed use. Rational use does not mean to abstain from water periodically. It means to use it without excesses, by considering it as a vital resource for the survivorship of the planet.

This awareness requires the support of basic environmental education, introducing the “water” theme into the curriculum of private and public schools at the kindergarden, elementary, and high school levels. The training of journalists and managers of hydric resources would certainly contribute with a broad dissemination of information on hydric problems, alerting and informing on the real necessity for changes of attitude.

Fortunately, in the past four years there has been an initiative – although still modest – for dissemination and awareness against water waste. Institutions that manage water resources have made available information and suggestions, as well as supporting material, through their official websites. Communication institutions have incorporated the theme in educational vignettes and in journalistic programs. Members of society in the entire country have begun their own initiatives to avoid loss through the use of sewage systems that save water, reservoirs for storage and reuse of rain water in households and condominiums, as well as simple day-to-day habit changes.

It is crucial to change the behavior of people and governments with respect to water for economic growth while still having in mind the capacity of water resources, increasing the hydric capacity to avoid water shortage in future years. That would include controlling population growth; increasing agriculture water productivity through the choice of cultivars that use less water and the adoption of more efficient irrigation practices; changes in dietary habits; reuse of water; harvesting rain water in areas with more than 500 m² of soil impermeabilization; expanding the access to sewage treatments; maintaining landfills, fuel tanks and chemical waste reservoirs; constant maintenance of supply networks and household plumbing leaks; identification of illegal connections to water supply networks; implementation of higher bills for industrial water and sewage, using proportional bills as an economic means to provide more efficient and widespread use of water; developing specific laws to govern the use of underground water and that prohibits indiscriminate use of wells, as well as specific laws and regulations for the rational use of hydric resources for the supply of the public, industry and thermal tourism, using more efficient equipment, and through the institutionalization of policies that create incentives to save water and eliminate subsidies that encourage unsustainable use of water.

Sumário

1 Disponibilidade e Uso da Água

1 Água: elemento essencial	47
2 Quantidade de água no planeta: área e volume	49
3 Ciclo hidrológico	52
4 Potencial e disponibilidade hídrica no mundo	56
4.1 Disponibilidade de água nos continentes	74
4.1.1 América do Sul	74
4.1.2 Ásia	75
4.1.3 América do Norte	76
4.1.4 Europa	77
4.1.5 África	78
4.1.6 Oceania	80
4.1.7 América Central e Caribe	80
4.2 Disponibilidade de água nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani	82
4.2.1 Disponibilidade de água na Argentina	83
4.2.2 Disponibilidade de água no Paraguai	83
4.2.3 Disponibilidade de água no Uruguai	84
4.2.4 Disponibilidade de água no Brasil	84
5 Usos de água no mundo	92
5.1 Uso de água por setores no mundo	95
5.2 Uso de água por setores nos continentes	99
5.3 Usos da água nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani	104
5.3.1 Usos da água na Argentina	105
5.3.2 Usos da água no Paraguai	105
5.3.3 Usos da água no Uruguai	106
5.3.4 Usos da água no Brasil	107
6 Abastecimento de água e saneamento básico	112
6.1 Abastecimento de água e saneamento básico nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani	116
6.2 Abastecimento de água e saneamento básico no Brasil	116

2 Águas Subterrâneas e Aquíferos

1 Águas subterrâneas	125
1.1 Ocorrência e volume das águas subterrâneas	127
1.2 Qualidade das águas subterrâneas	128
1.3 Uso das águas subterrâneas	129
2 Aquíferos	132
2.1 Tipos de aquíferos	133
2.2 Áreas de reabastecimento e descarga do aquífero	136
2.3 Funções dos aquíferos	137
2.4 Ocorrência de aquíferos nos países da área de abrangência do Guarani	138
2.4.1 Ocorrências na Argentina	138
2.4.2 Ocorrências no Paraguai	140
2.4.3 Ocorrências no Uruguai	140
2.4.4 Ocorrências no Brasil	142
2.5 Impactos ambientais sobre os aquíferos	149

3 Aquífero Guarani

1 Origem e denominação	155
2 Geografia	158
2.1 Localização e área	158
2.1.1 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guarani na Argentina	164
2.1.2 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guarani no Paraguai	165
2.1.3 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guarani no Uruguai	166
2.1.4 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guarani no Brasil	168
2.2 Zonas climáticas	172
2.3 Hidrografia	172
3 Caracterização geológica	173
3.1 Bacia Sedimentar do Paraná	173
3.2 Aquífero Guarani	174
4 Características gerais do Aquífero Guarani	179
4.1 Espessura	180
4.2 Zonas de recarga e descarga	180
4.3 Direção de fluxo da água	181

4.4 Características hidrodinâmicas ou hidráulicas	182
4.5 Volume da água	183
4.6 Qualidade da água	184
4.7 Temperatura da água	187
5 Uso do Aquífero Guarani	190
6 Vulnerabilidade do Aquífero Guarani	193
7 Histórico de estudos compartilhados	196
Quadro: Revelando o verdadeiro Aquífero Guarani	199

4 O Aquífero Guarani no Desenvolvimento Regional

1 Aspectos relevantes do Aquífero Guarani	203
2 Aplicações das águas do Aquífero Guarani	207
2.1 Fonte de abastecimento público	207
2.2 Climatização de ambientes	207
2.3 Desenvolvimento de atividades agroindustriais	208
2.4 Desenvolvimento de atividades industriais	210
2.5 Desenvolvimento do turismo hidrotermal	210
3 Ações recomendadas no uso do Aquífero Guarani	216

5 Considerações Finais

Referências

Glossário

Apêndice - Abrangência do Aquífero Guarani na Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil

227

237

249

261

A integração das águas

1

*Disponibilidade e
Uso da Água*

1 Água: elemento essencial

A água é um dos elementos reguladores do equilíbrio do sistema natural global. Esse sistema está determinado pelas relações existentes entre a biosfera, a atmosfera, a litosfera e a hidrosfera, nas quais a água se movimenta graças à sua capacidade de mudança de estado físico, em um ciclo permanente e em uma relação determinante da vida e das atividades produtivas do ser humano e da natureza.

Pode-se dizer que a água é um recurso renovável, pois devido à atuação da energia solar sobre a Terra, ela evapora dos oceanos e se redistribui ao redor do planeta, se autopurificando. O volume evaporado dos oceanos é maior do que aquele que se precipita sobre eles, de forma que existe uma transferência permanente de água desses aos continentes. Essa água é a massa líquida que flui nos canais e riachos e que abastece os ecossistemas, recarrega os aquíferos e satisfaz as demandas hídricas das populações. A capacidade de renovação das águas durante o ciclo hidrológico e sua agilidade de autopurificação permitem a relativa conservação, por um longo período, da quantidade e qualidade das águas doces. Esse fato dá a falsa ilusão de inalterabilidade e inexauribilidade dos recursos hídricos, que são considerados como um bem gratuito do meio ambiente. Sob essas condições, historicamente, a tradição é de descuido com o uso desses recursos (FUNDACIÓN CANAL, 2003).

Contudo, a vida não pode existir sem água no estado líquido. Reciprocamente, nos lugares onde ela está presente, dão-se as condições para o desenvolvimento dos processos vitais.

Os seres humanos, como todos os demais organismos vivos, dependem, totalmente, da água. Nossos sistemas fisiológicos necessitam de um meio aquoso, tanto para as atividades metabólicas como para as reprodutivas celulares e específicas. O DNA, gigantesca molécula que constitui a base de todos os organismos conhecidos, requer, para seu metabolismo e reprodução, estar em contato com uma solução aquosa de características apropriadas. Sua presença é também indispensável para que sobrevivam as plantas e outros animais que servem de alimentação e sustento para as sociedades humanas (DELGADO e ANTÓN, 2002).

O abastecimento de água potável às populações, em quantidade e qualidade adequadas, é um indicador básico da sua qualidade de vida (DPI, 2002). Com mais de um bilhão de pessoas com doenças provocadas anualmente pela água (80% das doenças em nível mundial) (OLIVEIRA FILHO, 2000), causando cerca de 3 milhões de mortes no mundo, na maioria de crianças, observa-se que a “questão água” não tem merecido a devida atenção por parte das autoridades governamentais.

Momentos recentes na história da humanidade têm demonstrado uma preocupação global com as questões ambientais da preservação e utilização racional dos recursos hídricos. Entre muitos, podem ser citados a criação da Agenda 21, que trata, no capítulo 18, da preservação das águas superficiais e subterrâneas e do “Dia Mundial da Água – 22 de Março”, ambos na “RIO 92” – Rio de Janeiro, Brasil – 1992, e a proclamação do Ano Internacional da Água Doce – 2003, sugerido pelo Tadjiquistão na Assembleia Geral das Nações Unidas, em 12 de dezembro de 2002.

Organismos e entidades internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU), o Banco Mundial (BIRD), a Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Internacional de Serviços Públicos (ISP) estão constantemente discutindo o crescimento desordenado da população e a crescente demanda por água, o que torna imprescindível a mudança de padrões de conduta e hábitos com relação ao seu uso e conservação, como o desperdício e as perdas geradas por sistemas deficientes de abastecimento e irrigação (DPI, 2002).

Essa mudança de atitude só será possível por meio da educação ambiental e da conscientização da sociedade como um todo, de que a água, apesar de abundante, não é inesgotável (SBPC, 2000).

Além disso, é imprescindível que a gestão das águas subterrâneas esteja integrada com a das águas superficiais, pois ambas apresentam uma inter-relação na fase líquida do ciclo hidrológico. As duas, portanto, podem ser consideradas como tão somente a água em suas fases superficial e subterrânea, sendo que ambas entram na contabilidade geral das disponibilidades hídricas (DRM, 2003).

“A história da água no planeta está diretamente relacionada com a abundância, a variedade e diversidade da vida e a produção biológica”. Diante dessa afirmação, Tundisi (2003) tem ressaltado permanentemente que não há fórmula global e definitiva, e receita única para resolver o problema da escassez da água, seja ela em razão de desequilíbrios no ciclo hidrológico ou como consequência de poluição excessiva. A solução está relacionada a ações locais e regionais diversificadas, que usam a cultura local sobre a água e o ciclo hidrossocial, e deve fundamentar-se nos avanços tecnológicos necessários e nas ações políticas, gerenciais e de organização institucional em nível de bacias hidrográficas, consórcios de municípios, bacias interestaduais e internacionais.

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA
▶ substância composta, cuja molécula é constituída por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H ₂ O);
▶ constituinte fundamental de todos os organismos vivos;
▶ elemento mais abundante na natureza e principal regulador do clima;
▶ principal propriedade química: o enorme poder de dissolver outras substâncias;
▶ encontrada simultaneamente nos três estados físicos fundamentais: líquido, sólido e gasoso;
▶ incolor, insípida e inodora;
▶ de acordo com a quantidade de sais minerais dissolvidos (TSD = teor de sólidos dissolvidos), a água pode ser caracterizada como:
- água doce: até 1.000 mg/L (1g/L)
- água salobra: entre 1.000 mg/L (1 g/L) e 10.000 mg/L (10g/L)
- água salgada: > 10.000 mg/L (10g/L). A água do mar atinge, em média, 35 g/L de sais minerais dissolvidos.

2 Quantidade de água no planeta: área e volume

Avaliar a exata quantidade de água na Terra envolve processos bastante complexos, porque ela se encontra em permanente movimento e sempre mudando de um estado físico para outro. Portanto, costuma-se estimar apenas a quantidade de água presente na hidrosfera, que é a água livre, nos estados líquido e sólido na superfície da Terra (oceanos e mares, rios, lagos de água doce e salgada, pântanos, nas calotas polares e geleiras, no solo – umidade) e no subsolo (aquíferos) até a profundidade de 2.000 metros (SHIKLOMANOV, 1999), e gasoso na atmosfera.

A área total da superfície da Terra é de 510,1 milhões de km², sendo que 70,7% está coberta pelas águas, o equivalente a aproximadamente 360,6 milhões de km² (gráfico 1.1). Os rios e pântanos possuem uma área de 17,6 milhões de km², as calotas polares e geleiras ocupam 16,4 milhões de km² e os lagos de água doce e salgada perfazem um total de 2,1 milhões de km² (SHIKLOMANOV, 1998).

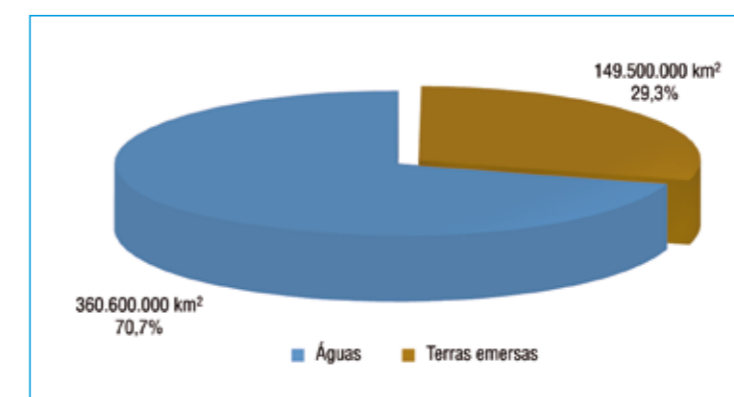


GRÁFICO 1.1 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DE TERRA E ÁGUA NO PLANETA
FONTE: Adaptado de Shiklomanov (1998)

O volume total de água no planeta é de 1.385.984.610 km³ (FUNDACIÓN CANAL, 2003), sendo que desse total, 97,5% constitui-se de água salgada e apenas 2,5% de água doce

(SHIKLOMANOV, 1998), ou seja: 1,351 bilhão de km³ e 34,6 milhões de km³, respectivamente (gráfico 1.2). A água salgada está distribuída em oceanos e mares, por vastas extensões, envolvendo os continentes.

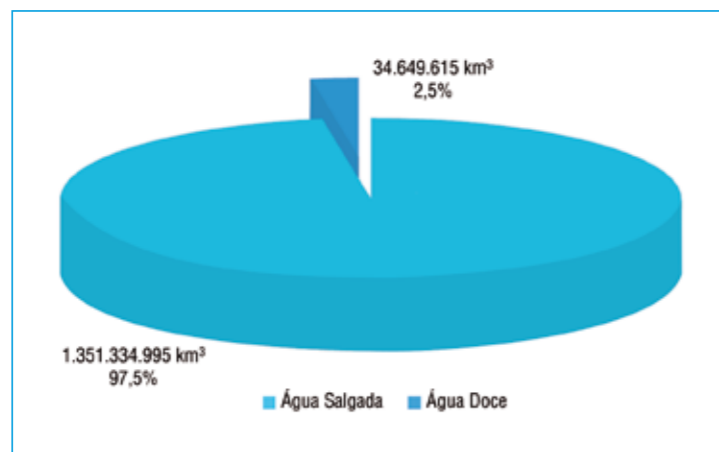


GRÁFICO 1.2 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS ÁGUAS NO PLANETA
 FONTE: Adaptado de Shiklomanov (1998)

Os 34,6 milhões de km³ de água doce utilizáveis no abastecimento da população ou outros fins encontram-se distribuídos conforme a (tabela 1.1 e figura 1.1).

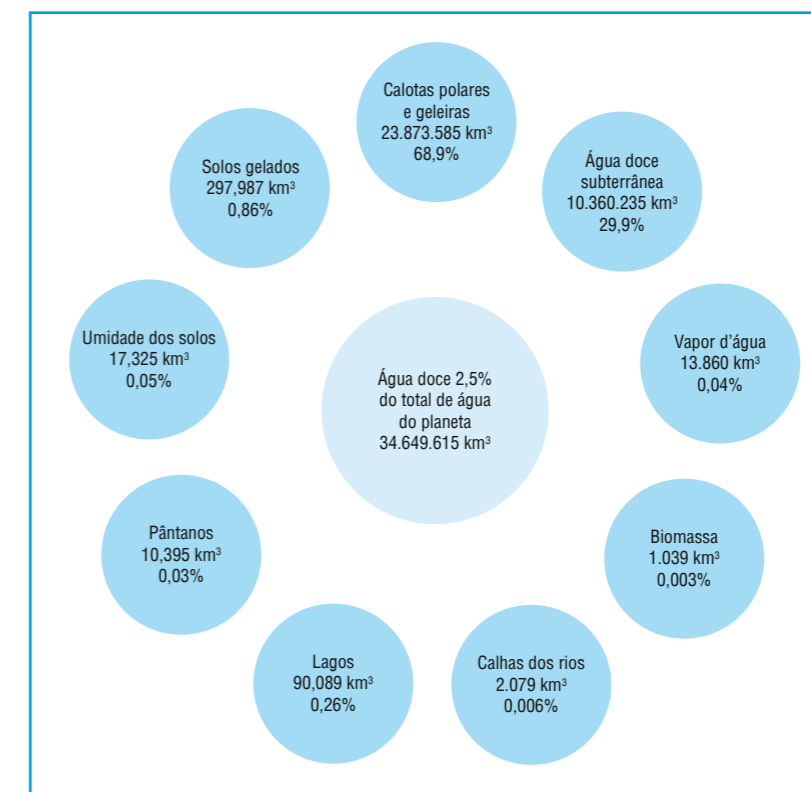


FIGURA 1.1 – DISTRIBUIÇÃO TOTAL E RELATIVA DAS ÁGUAS DOCES NO PLANETA
 FONTE: Adaptado de Shiklomanov (1998)

A maior parte do volume total de água doce não está disponível por se encontrar concentrada nas calotas polares e em aquíferos profundos. Cerca de 92.168 km³ ou (0,3%) da água doce total disponível está nos rios e lagos, constituindo, portanto, o volume passível de ser utilizado pelo homem para suprir suas necessidades (gráfico 1.3.). Esse volume equivale a 0,008% do total de água no mundo.

TABELA 1.1 - ÁREA, VOLUME TOTAL E RELATIVO DE ÁGUA DOS PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DO PLANETA

RESERVATÓRIO	ÁREA (km ²)	VOLUME (km ³)	VOLUME TOTAL (%)	VOLUME DE ÁGUA DOCE (%)	DO VOLUME DE ÁGUA DOCE DISPONÍVEL ⁽¹⁾ (%)
Calotas polares e geleiras	16.451.000	23.873.585	1,72	68,9	-
Água doce subterrânea	-	10.360.235	0,75	29,9	98,72
Solos gelados	21.000.000	297.987	0,022	0,86	-
Lagos de água doce	1.236.000	90.089	0,007	0,26	0,86
Umidade do solo	-	17.325	0,001	0,05	0,17
Vapor da atmosfera	510.000.000	13.860	0,001	0,04	0,13
Pântanos	2.683.000	10.395	0,0008	0,03	0,10
Calha dos rios	14.880.000	2.079	0,0002	0,006	0,02
Biomassa	510.000.000	1.039	0,0001	0,003	0,01
TOTAL	-	34.649.615	2,5	100,0	100,00

FONTE: Adaptado de Shiklomanov (1998)
 NOTA: (1) Calculado sobre o total de água doce sem as calotas polares e solos gelados = 10.495.022 km³.

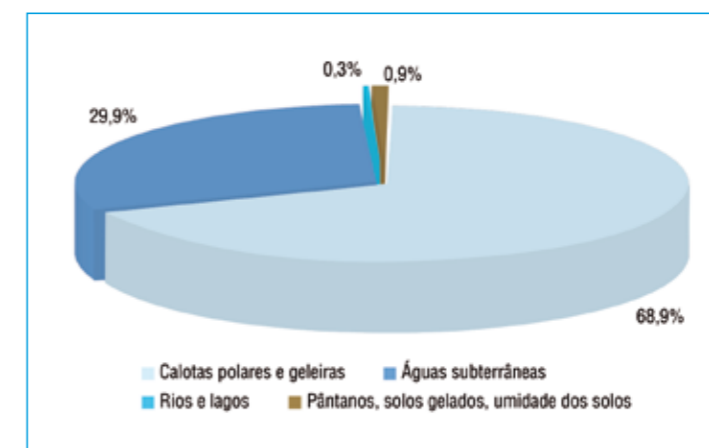


GRÁFICO 1.3 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DE ÁGUAS DOCES NO PLANETA
 FONTE: Adaptado de Shiklomanov (1998)

3 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é a interminável e natural circulação da água pelas esferas terrestres (atmosfera, biosfera, litosfera, hidrosfera), ou seja, é a contínua movimentação das águas e suas mudanças de estado físico, ocorrendo sempre em situação de equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no sistema (quadro 1.1) (SMA, 2003).

QUADRO 1.1 - DESCRIÇÃO DOS FENÔMENOS FÍSICOS QUE DETERMINAM O CICLO HIDROLÓGICO

FASES	DESCRIÇÃO
Evaporação	As moléculas de água na superfície dos oceanos e corpos de água, nos continentes, energizadas pelos raios solares, escapam para a atmosfera em forma de vapor.
Evapotranspiração	Através desse processo, as plantas eliminam a água em excesso, liberando-a para a atmosfera na forma de vapor.
Condensação	Atingindo as camadas mais altas e frias da atmosfera, o vapor de água, originado nos oceanos e continentes, condensa-se, formando as nuvens.
Precipitação	Impulsionadas pelo vento ao redor do mundo, as nuvens chegam a um ponto de saturação tal que liberam a água em excesso, sob a forma de chuva, neve ou granizo.
Escoamento superficial	Parte da água da chuva evapora-se novamente à atmosfera, enquanto que outra parte escoar na superfície (alimentando córregos e rios), para finalmente voltar aos lagos e mares, que lhes deram origem.
Infiltração e percolação	A água que não escoou na superfície, infiltra-se no subsolo, alimentando as raízes das plantas (que a transpiram de volta para a atmosfera), ou percolam por gravidade, na razão de alguns centímetros por dia, através das fissuras e poros do solo e das rochas.
Escoamento subterrâneo	É a descarga dos aquíferos que aflora na interface água doce (rios, lagos)/água salgada (diretamente no mar).

FONTE: Hydrolog (2003)

O calor do Sol aquece a água dos oceanos e da superfície terrestre, que se evapora, passando a formar parte da atmosfera, por onde circula até que se condensa e precipita-se sobre os oceanos e continentes (alimentando rios, lagos, aquíferos, glaciários). Parte da

água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, parte infiltra-se no subsolo e parte constitui-se no escoamento superficial que retorna aos oceanos, de onde evapora novamente, repetindo o processo continuamente (FUNDACIÓN CANAL, 2003). Uma considerável parte do escoamento dos rios não chega aos oceanos, evaporando-se nas regiões com pouca drenagem ou regiões de escoamento endorreico (SHIKLOMANOV, 1999).

Do total da água precipitada, uma parte nem alcança a superfície terrestre, já que na sua queda, volta a evaporar. Do total que atinge a superfície terrestre, a parcela que não se perde por meio da evapotranspiração e evaporação direta das massas de água, constitui o que se chama de recursos hídricos internos renováveis (RHIR). Desses recursos, a parcela que não se infiltra no solo irá formar o escoamento superficial total (rios) e isso acontece quando a precipitação supera a infiltração no solo ou quando a água atinge uma formação impermeável, como a argila. Em seu percurso, estará sujeita à infiltração em outro material mais permeável ou à descarga em corpos de água, alimentando os rios e lagos ou à descarga direta no oceano (IGM, 2001). Dependendo da temperatura ambiente, essa água evapora novamente, ou, nos países frios ou em grandes altitudes, ela se acumula na superfície, em forma de neve ou gelo, ali ficando por muito tempo.

Da água que se precipita sobre as áreas continentais, calcula-se que a maior parte (60 a 70%) se infiltra. Portanto, a parcela que escoar diretamente para os riachos e rios é pequena (30 a 40%). Essa água que se infiltra constitui-se no fluxo subterrâneo, até que aflora em lagos e rios, mantendo-os fluindo o ano todo, mesmo quando passa muito tempo sem chover, ou deságua diretamente no mar. Quando diminui a infiltração, necessariamente aumenta o escoamento superficial das águas das chuvas. A infiltração é importante, portanto, para regularizar a vazão dos rios, distribuindo-a ao longo de todo o ano, evitando, assim, os fluxos repentinos, que provocam inundações (ZIMBRES, 2000).

Os rios desempenham um papel importante no ciclo hidrológico e representam a principal fonte de água doce para suprir as necessidades e atividades econômicas do homem, concentrando, aproximadamente, 2.079 km³ de água, sendo que desse total, quase 50% se encontra na América do Sul e 25% na Ásia. O Amazonas, maior rio do mundo, contribui anualmente com 16% da descarga total de água no mundo e com os quatro outros maiores rios, Ganges com Brahmaputra, Congo, Yangtze e Orinoco, concentra 27% de todo o recurso hídrico do planeta (SHIKLOMANOV, 1999).

Quando a quantidade de água precipitada é menor do que a água evaporada, diz-se que há um déficit hídrico ou que a região é seca, sendo que as recargas das águas subterrâneas e os escoamentos superficiais podem se tornar escassos ou efêmeros. Os rios e lagos secam temporariamente e os solos perdem a umidade sob o efeito dos processos de evaporação intensa, prejudicando o desenvolvimento da biomassa natural ou cultivada (REBOUÇAS et al., 2002).

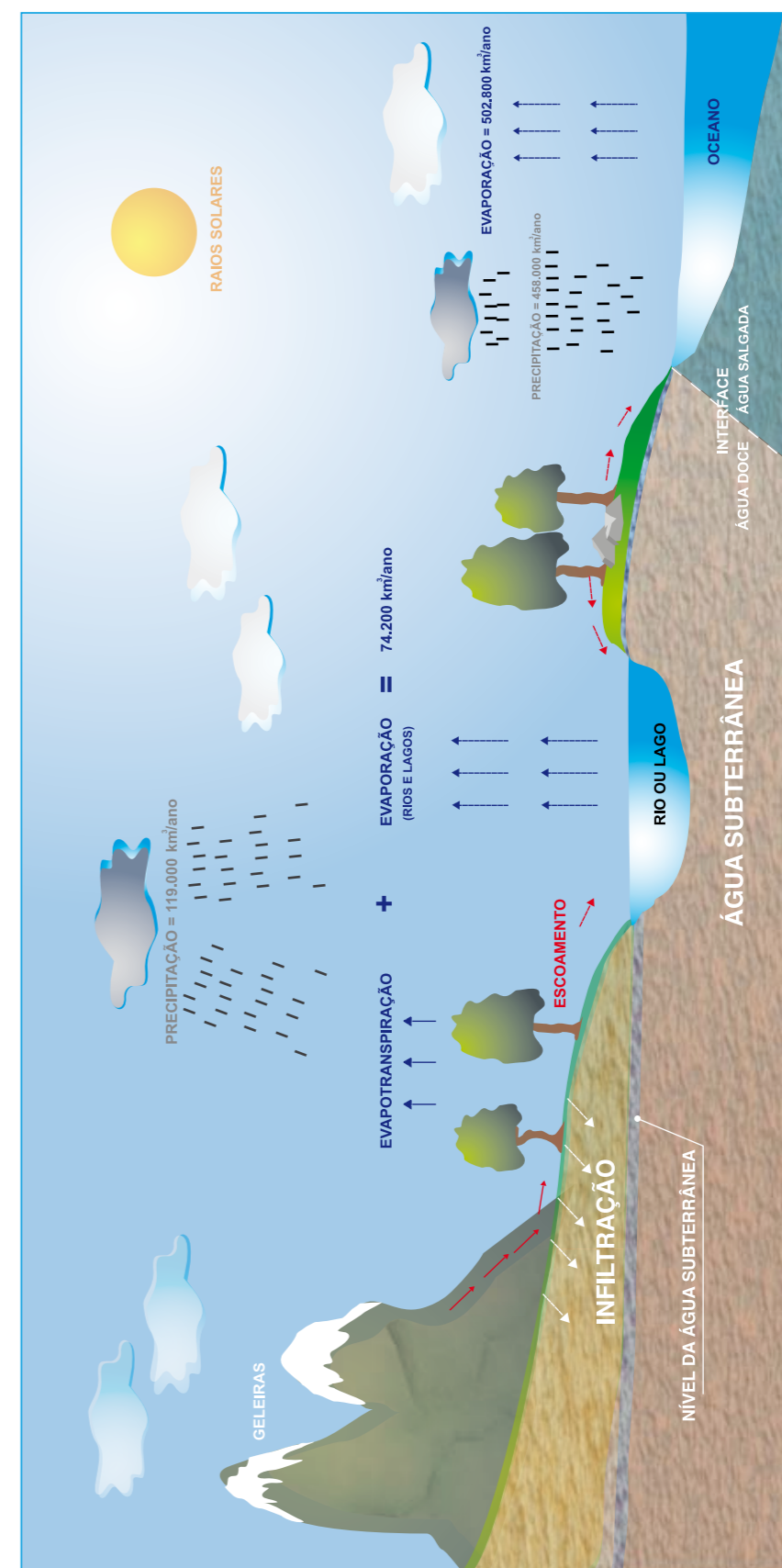
Anualmente, o ciclo hidrológico envolve um volume total de água de 577.000 km³, de tal forma que o volume total envolvido na evaporação é igual ao envolvido na precipitação, (UNESCO/IHP, 1988), figura 1.2.

O volume de 577.000 km³/ano é transformado em vapor de água, o qual sobe à atmosfera, sendo 502.800 km³/ano evaporados dos oceanos e 74.200 km³/ano das terras emersas. O mesmo volume de água, ou seja, 577.000 km³ precipita-se sobre os oceanos (458.000 km³/ano) e continentes (119.000 km³/ano). A diferença entre a quantidade de água que evapora e cai nos domínios oceânicos (502.800 - 458.000 = 44.800 km³/ano) representa a umidade que é transferida dos oceanos aos continentes. A diferença entre o volume precipitado e o evaporado das terras (119.000 - 74.200 = 44.800 km³/ano) representa o excedente hídrico ou a renovação anual de recursos hídricos, que constitui o escoamento total dos rios no planeta (42.600 km³/ano), e o escoamento dos aquíferos (2.200 km³/ano), que deságuam diretamente no mar. O volume total das descargas globais dos rios (42.600 km³/ano) é representado por 29.600 km³/ano de escoamento superficial e 13.000 km³/ano dos fluxos subterrâneos que os alimentam (SHIKLOMANOV, 1999).

Sendo assim, a evaporação das águas continentais representa cerca de 61% da precipitação que tem lugar sobre a superfície terrestre. Os 39% restantes da precipitação retornam aos oceanos, fundamentalmente por meio do escoamento superficial.

Em termos gerais, o volume total de água que intervém no ciclo hidrológico é praticamente constante; sem dúvida, especialmente está modificando-se em nível continental, regional e local, toda vez que a hidrologia de uma região está condicionada por fatores climáticos, topográficos, geológicos e de vegetação, entre outros.

O funcionamento do ciclo pode ser qualitativamente alterado, uma vez que o volume global de água em escala mundial permanece constante. Nesse contexto, a atividade humana gera poluição e contaminação, além de o uso dos recursos hídricos, sem que sejam convenientemente depurados, afeta a sua qualidade, desencadeando processos de degradação progressiva, as quais determinam situações em que, ainda dispondo-se de suficiente quantidade de recursos, estes não serão aproveitados, devido a sua má qualidade (FUNDACIÓN CANAL, 2003). Esses fatores irão, conseqüentemente, inviabilizar a reutilização, causando uma redução do volume de água aproveitável da Terra (JACOBI, 2003).



4 Potencial e disponibilidade hídrica no mundo

O total do volume de água doce (34,6 milhões km³) do planeta, somente cerca de 30,2% (10,5 milhões km³ – água doce subterrânea, rios, lagos, pântanos, umidade do solo e vapor na atmosfera) pode ser utilizado para a vida vegetal e animal nas terras emersas, pois 69,8% (24,1 milhões de km³) encontra-se nas calotas polares, geleiras e solos gelados. Dos 10,5 milhões km³ de água doce, aproximadamente 98,7% (10,34 milhões de km³) corresponde à parcela de água subterrânea e apenas 0,9% (92,2 mil km³) corresponde ao volume de água doce superficial (rios e lagos), diretamente disponível para as demandas humanas.

Segundo Lanna (2001), esse volume não pode ser considerado exatamente como disponibilidade, pois se trata de um valor absoluto, onde não está expressa a quantidade da água que circula no ciclo hidrológico.

Na realidade, a disponibilidade depende do fluxo de água renovável, que é determinado pela diferença entre as precipitações e as evaporações médias anuais. Mais da metade desse fluxo chega aos oceanos antes que possa ser captado, e um oitavo atinge áreas demasiadamente distantes (não povoadas) para ser usado pelos seres humanos. Especialistas estimam as disponibilidades efetivas de água entre 9.000 a 14.000 km³/ano (SHIKLOMANOV, 1993 e POSTEL, 1992 citados por LANNA, 2001).

Além disso, a quantidade média de água renovável (chuva e escoamento) do planeta, estimada em 44.800 km³/ano, varia muito em espaço e tempo e, analisando-se os anos individualmente, sua magnitude pode variar de 15 a 25% (SHIKLOMANOV, 1999), conferindo uma distribuição muito irregular em todas as regiões. Desse modo, é frequente não dispor do recurso hídrico quando e onde se necessita. Algumas zonas contam com enormes quantidades de água, enquanto que em outras sua disponibilidade é praticamente nula. Por exemplo, no deserto do Atacama, no Chile, é normal que não chova durante anos seguidos, configurando-se como uma das zonas mais áridas do mundo; enquanto que no monte Waialeale, na Ilha de Kauai, no Havai, a precipitação tem chegado a medir até 11,5 m em um ano. Muitas regiões no mundo recebem a totalidade da precipitação em períodos de tempo muito curtos. Em Cheerapunji, Índia, mais de 10,5 m da chuva anual que lhe corresponde é

produzida durante a época dos Monções. Na Califórnia, praticamente não chove entre maio e setembro, que é quando se produzem as maiores demandas de água, circunstâncias que se repetem, por exemplo, no leste espanhol (FUNDACIÓN CANAL, 2003).

Vários países apresentam escassez de chuvas durante parte do ano e abundância no resto, e outros, como os países da Faixa do Sahel, na África, que possuem parte do território desértico, mas são cortados por algum rio caudaloso, como o Nilo ou o Níger, apresentam uma situação insólita – parte do seu território tem água suficiente e parte tem escassez (SBPC, 2000).

A bacia do Rio Amazonas aporta 20% do escoamento total do mundo; o escoamento dos rios europeus é de apenas 7% do total; na Austrália só há produção de 1% do escoamento total e 30% do escoamento da África é devido unicamente à bacia do rio Congo (FUNDACIÓN CANAL, 2003).

Além das variações climáticas naturais, o número de habitantes em uma determinada região e as atividades econômicas também influenciam na distribuição dos recursos hídricos de uma região (SHIKLOMANOV, 1999).

Além disso, os valores absolutos não mostram a real situação de cada continente ou país quanto à escassez ou abundância de água, pois a disponibilidade de água varia muito de uma região para outra.

Algumas considerações relacionadas aos dados da situação hídrica de cada região são necessárias para a compreensão da análise que será apresentada a seguir. Convém ressaltar que os autores basearam-se nos dados fornecidos pela AQUASTAT (Sistema de Informação da Água na Agricultura), órgão de informação vinculado a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) para a elaboração das tabelas e gráficos. Os dados são fornecidos pelos órgãos competentes de cada país; e, portanto, são provenientes de fontes diversas, estimadas por meio de métodos e períodos também diferentes. Para uma análise detalhada, com objetivos específicos relativos ao gerenciamento dos recursos hídricos, devem-se buscar os dados específicos da região em estudo.

A disponibilidade hídrica social, que representa a quantidade de água disponível anualmente por pessoa (m³/hab./ano), é o critério mais comum para avaliar a disponibilidade de água renovável em uma região. Foi calculada por meio da divisão entre os valores de recursos hídricos renováveis anuais pela população do ano 2006, obtidas em FAO (2009). Com base nos seus valores, pode-se classificar os países de acordo com a tabela 1.2, sendo que a disponibilidade hídrica de 1.000 m³/hab./ano é geralmente usada como um indicador de escassez de água (FAO, 2003).

Segundo Falkenmark e Widstrand (1992), citados por Lanna (2001), países com disponibilidade de água renovável abaixo de 1.700 m³/hab./ano estariam propensos a sofrer regularmente períodos de “estresse hídrico”. Essa situação caracteriza-se pela penúria hídrica, com a estagnação em termos de desenvolvimento econômico e com degradação grave do ambiente (SAER, 2003). Quando esse montante cair para 1.000 m³/hab./ano a

situação já é considerada como de escassez crônica e, abaixo de 500 m³/hab./ano, o quadro é de escassez absoluta.

A disponibilidade social, ainda que decorrente do número da população que muda a cada dia, é calculada normalmente a cada quatro anos ou até mais, dependendo do país, mas a diferença é sempre tão pequena que, embora se utilizem valores “desatualizados”, eles continuam refletindo a situação da disponibilidade hídrica social de cada país ou região.

TABELA 1.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS GRAUS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL, SEGUNDO A ONU, UNESCO E SHIKLOMANOV

DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL					
ONU		UNESCO (2003)		SHIKLOMANOV (1999)	
Grau	m ³ /hab./ano	Grau	m ³ /hab./ano	Grau	m ³ /hab./ano
-	-	Inferior Crítico	< 500	-	-
Crítico	< 1.500	Catastrófico	1.000	Catastroficamente baixo	≤ 1.000
Pobre	< 2.500	Crítico	2.000	Muito baixo	1.100 - 2.000
Correto	> 2.500	Baixo	5.000	Baixo	2.100 - 5.000
Rico	> 5.000	Médio	10.000	Média	5.100 - 10.000
Muito rico	> 10.000	Alto	20.000	Alto	10.100 - 20.000
Abundância	> 20.000	Muito alto	> 20.000	Muito alto	> 20.000

Devido ao rápido crescimento populacional, de 1970 a 1994, o potencial de disponibilidade de água *per capita* diminuiu de 12.900 para 7.600 m³/hab./ano. A maior redução ocorreu na África (2,8 vezes), Ásia (2,0 vezes) e América do Sul (1,7 vezes). Na Europa, a redução foi de apenas 16% (SHIKLOMANOV, 1999).

Durante as últimas décadas, as características quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos têm sido afetadas por um complexo sistema de impacto antrópico (irrigação, uso do solo, agrotóxicos, erosão, desmatamentos, poluição industrial, agrícola e doméstica, desperdício, etc.) (UNESCO, 2003).

Segundo dados da FAO (2009), a América do Sul e a Ásia concentram os maiores potenciais de recursos hídricos do mundo, com 12.380 e 11.657 km³/ano, respectivamente, seguidas pela América do Norte, com 6.662 km³/ano e a Europa com 6.619 km³/ano. África, Oceania e América Central e Caribe (3.936, 1.722 e 781 km³/ano, respectivamente) são os continentes com os menores potenciais (tabela 1.3 e gráfico 1.4).

TABELA 1.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO PLANETA

CONTINENTE	ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO (Ano 2006)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm/ano)	RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS (km ³ /ano)	DISPONIBILIDADE DE ÁGUA ⁽¹⁾ (m ³ /ano)	
					por km ²	<i>per capita</i>
América do Sul	17.833.607	378.556.990	1.797	12.379,98	695	32.703
Ásia	44.605.367	4.001.633.913	1.005	11.657,15	365	2.927
América do Norte ⁽²⁾	23.707.749	441.574.843	772	6.662,00	281	15.089
Europa	10.395.007	713.395.085	821	6.618,58	287	9.056
África	30.312.720	943.299.580	1.040	3.935,90	131	4.175
Oceania ⁽³⁾	8.580.747	35.133.788	2.158	1.721,65	202	51.033
América Central e Caribe	756.400	81.150.490	1.838	781,08	1.043	9.845
Mundo	136.191.597	6.594.744.689	-	43.756,35	322	6.640

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

NOTAS: (1) Para o cálculo de disponibilidade de água por área e *per capita* foram utilizados os valores de área e população apenas dos países com dados sobre recursos hídricos disponibilizados na FAO. Na tabela são apresentados os valores totais de área e população por continente.

(2) Os dados do Havaí foram agrupados com os dos demais países da Oceania e não com os Estados Unidos da América, segundo definição da FAO.

(3) Os dados da Papua-Nova Guiné foram agrupados com os dos demais países da Oceania e não com os da Ásia, segundo definição da FAO.

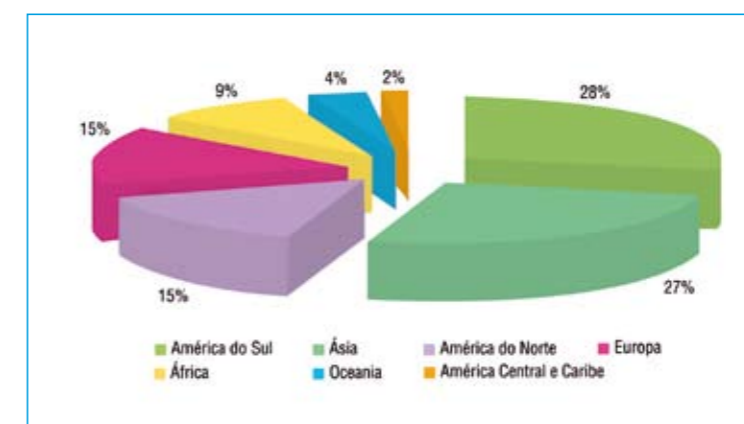


GRÁFICO 1.4 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS INTERNOS NO PLANETA – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Existem variações muito evidentes entre potencial hídrico e as disponibilidades por área e *per capita* nos continentes (gráficos 1.5, 1.6 e 1.7).

Quanto à disponibilidade *per capita*, a Oceania apresentou em 2006 o maior valor (51.033 m³/hab./ano), mesmo tendo uma disponibilidade por área de somente 202 m³/km²/ano, maior apenas que a da África, e um dos menores volumes de água (1.721,65 km³/ano) do planeta, apenas maior que o da América Central. Isso se explica pela baixa densidade demográfica desse continente.

A Ásia, segunda em potencial de recursos hídricos renováveis internos, apresentou a menor disponibilidade *per capita* (2.927 m³/hab./ano), devido a sua alta densidade

populacional, enquadrando-se no grau baixo de disponibilidade (SHIKLOMANOV, 1999). Já a América do Sul, com os maiores volumes de água, apresentou um valor para disponibilidade hídrica social menor que o da Oceania (gráfico 1.5).

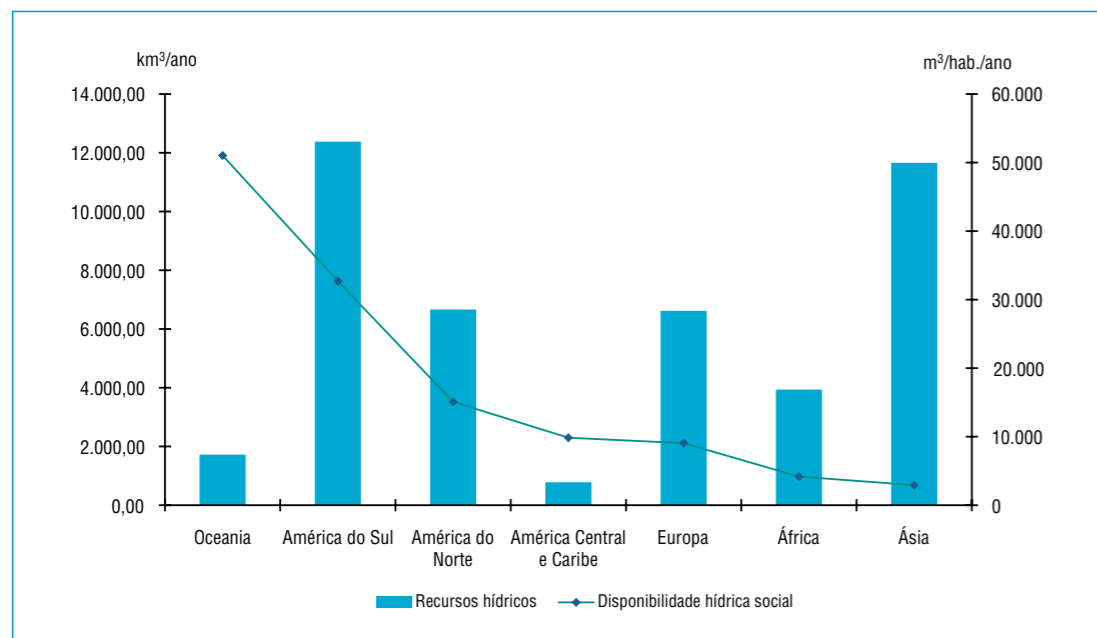


GRÁFICO 1.5 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS INTERNOS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NOS CONTINENTES – 2006
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A América Central, com o menor potencial hídrico, tem a maior disponibilidade anual por área (1.043 m³/km²/ano). A América do Sul, com o maior potencial hídrico, tem a segunda maior disponibilidade por área (695 m³/km²/ano). A África apresentou o menor valor para disponibilidade em km² (131 m³/ano) (gráfico 1.6).

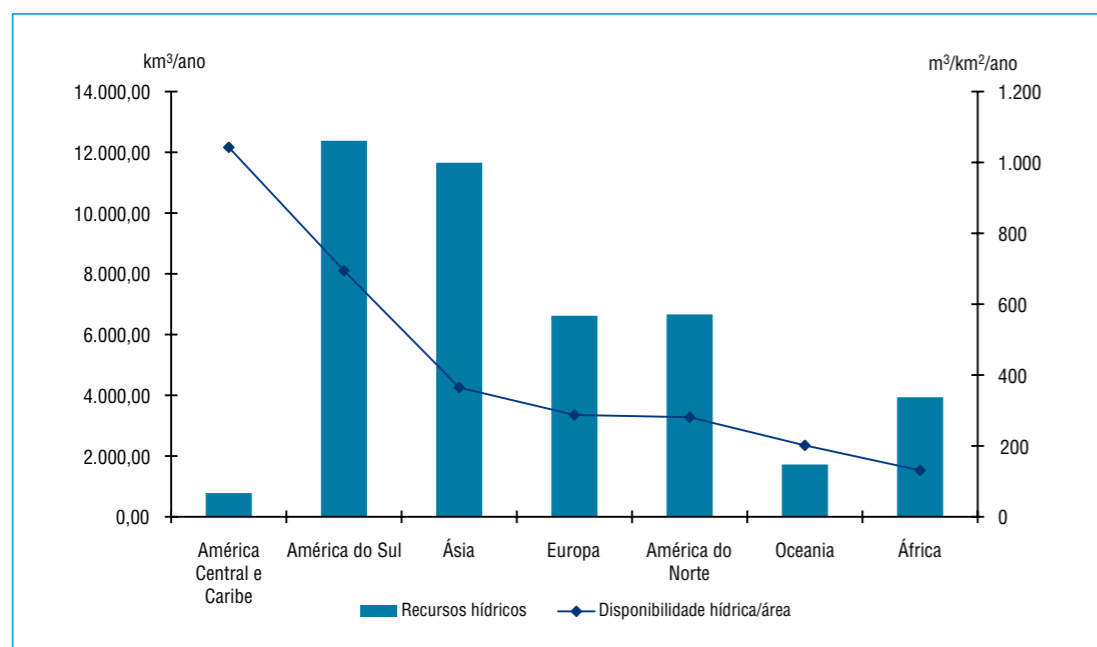


GRÁFICO 1.6 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS INTERNOS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA ANUAL POR ÁREA NOS CONTINENTES – 2006
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A Ásia e a África apresentaram as menores disponibilidades *per capita* (2.927 e 4.175 m³/hab./ano, respectivamente) do planeta. A América do Sul tem a segunda melhor disponibilidade tanto por área quanto *per capita*, conferindo a esse continente o *status* de o mais abundante em recursos hídricos (gráfico 1.7).

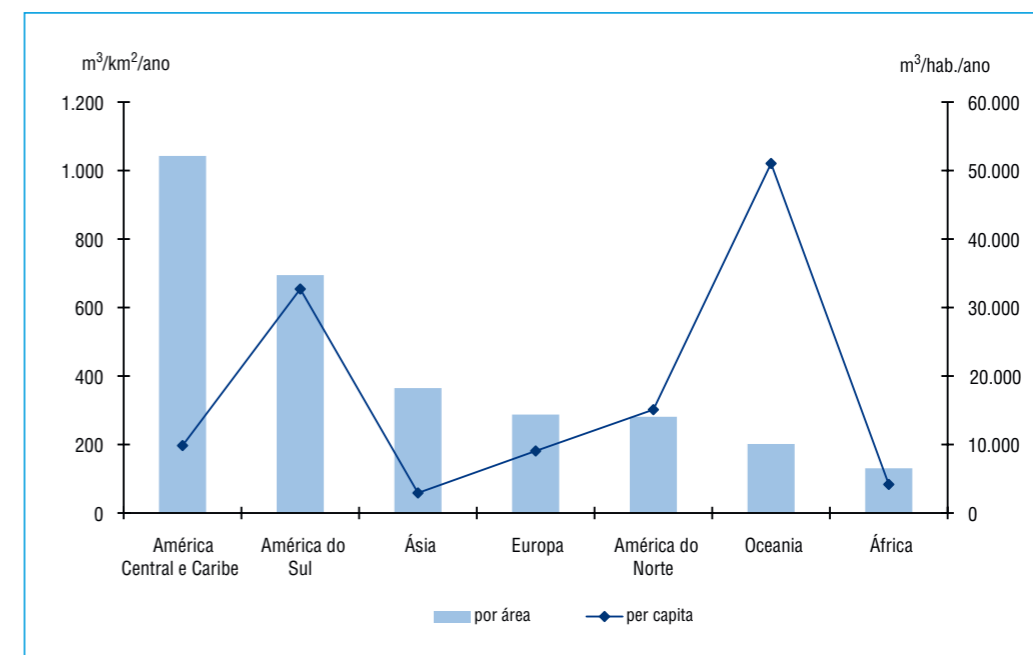


GRÁFICO 1.7 – DISPONIBILIDADE HÍDRICA ANUAL POR ÁREA E SOCIAL NOS CONTINENTES – 2006
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Segundo dados da FAO (2009), o continente com a maior média anual de precipitação, em 2007, foi a Oceania, com 2.158 mm/ano, seguida pela América Central/Caribe (1.838 mm/ano) e América do Sul (1.797 mm/ano) (tabela 1.3). A América do Norte apresentou a menor média anual de precipitação (772 mm/ano).

Papua-Nova Guiné, Ilhas Salomão e Samoa foram os países com os maiores índices de pluviometria na Oceania, em 2007, e encontram-se também entre os maiores índices do mundo (tabela 1.4).

Os países da América Central e Caribe que apresentaram os maiores índices pluviométricos foram Costa Rica, Panamá e Martinica, com mais de 2.600 mm/ano. Os demais países desse continente apresentaram índices entre 1.000 e 2.400 mm/ano, com exceção de Guadalupe, que teve um índice pluviométrico de 247 mm/ano.

Na América do Sul, os maiores índices pluviométricos foram verificados na Guiana Francesa, Colômbia, Guiana e Suriname (entre 2.331 e 2.895 mm/ano), e com a Argentina apresentando o menor índice (591 mm/ano) (tabela 1.4).

O Extremo Oriente, Sudeste e Sul da Ásia caracterizam-se pela grande quantidade de chuvas (clima tropical de monção), onde estão localizados os países com os maiores índices pluviométricos do continente (Malásia, Brunei, Indonésia, Bangladesh e Singapura),

com mais de 2.500 mm/ano. Arábia Saudita, Qatar, Emirados Árabes Unidos e Bahrain, no Oriente Médio, são os países com os menores índices pluviométricos (menos de 100 mm/ano) da Ásia e do planeta (tabela 1.4).

Na África, os países com os maiores índices de precipitação foram São Tomé e Príncipe, Reunião (departamento ultramarino francês), Serra Leoa, Libéria, Seicheles, Guiné Equatorial e Ilhas Maurício, com mais de 2.000 mm/ano. Egito, Líbia, Argélia e Mauritânia foram os países que apresentaram os menores índices pluviométricos (menos de 100 mm/ano).

Na Europa, a Islândia apresentou o maior índice pluviométrico do continente (1.940 mm/ano), seguida pela Suíça, Albânia, Noruega, Inglaterra, Eslovênia, Irlanda, Croácia, Áustria e Bósnia/Herzegovina com índices entre 1.000 mm/ano e 1.540 mm/ano. Rússia e Moldóvia apresentaram os menores índices (460 e 450 mm/ano, respectivamente). Os demais países europeus tiveram índices pluviométricos entre 500 e 900 mm/ano.

Na América do Norte, México e Estados Unidos apresentaram uma pluviometria média de 730 mm/ano, o Canadá, 537 mm/ano e a Groenlândia, 350 mm/ano.

A classificação dos países quanto à riqueza ou pobreza de água não depende apenas das disponibilidades efetivas dos seus recursos hídricos renováveis, mas principalmente, da disponibilidade desses mesmos recursos para o consumo da população. Sendo assim, um país não pode ser considerado mais rico em água que outro apenas por apresentar um potencial de recursos hídricos maior que aquele. A sua riqueza em água será determinada pela disponibilidade hídrica anual *per capita*, ou seja, quanto maior essa disponibilidade, mais rico é o país em termos de água. E esta depende principalmente da densidade populacional e da distribuição dos recursos por área. O Brasil, por exemplo, destaca-se por apresentar a maior disponibilidade de recursos hídricos renováveis do planeta (8.233,0 km³/ano), porém aparece em vigésimo quinto lugar com relação à disponibilidade hídrica social (43.487 m³/hab./ano), decorrente da grande desigualdade na distribuição dos recursos hídricos no país, com 57% concentrados na Região Norte e parte das regiões Nordeste e Centro-Oeste onde a densidade populacional é muito baixa. A China possui o quarto maior volume de recursos hídricos (2.896,57 km³/ano), mas apenas 2.180 m³/hab./ano para a disponibilidade hídrica social, devido à sua altíssima taxa de densidade populacional.

Grandes áreas do mundo já sofrem total escassez de água, como as regiões desérticas da África (o Saara com 9.000.000 km² e o Kalahari com 260.000 km²), Arábia (225.500 km²), Gobi (1.295.000 km²) e Chile (deserto de Atacama com 78.268 km²) (GONÇALVES et al., 2001). Os países que estão próximos das zonas áridas e semiáridas apresentam uma situação crítica. As regiões do mundo com maior vulnerabilidade são a África do Norte e o Oriente Médio, com três (Tunísia, Argélia e Líbia) e oito (Omã, Israel, Iêmen, Jordânia, Arábia Saudita, Qatar, Emirados Árabes Unidos e Kuwait) países ameaçados, respectivamente (UNESCO, 2003).

TABELA 1.4 - OCORRÊNCIA DOS MAIORES E MENORES ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS NO PLANETA – 2007

Países	MAIORES ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS			Países	MENORES ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS		
	Precipitação média		Recursos hídricos renováveis internos		Precipitação média		Recursos hídricos renováveis internos
	mm/ano	km ³ /ano	km ³ /ano		mm/ano	km ³ /ano	km ³ /ano
São Tomé e Príncipe	3.200	3,07	2,18	Egito	51	51,07	1,80
Papua-Nova Guiné	3.142	1.454,10	801,00	Líbia	56	98,53	0,60
Ilhas Salomão	3.028	87,51	44,70	Arábia Saudita	59	126,83	2,40
Reunião	3.000	7,53	5,00	Qatar	74	0,81	0,06
Samoa	2.992	8,50	-	Emirados Árabes	78	6,52	0,15
Costa Rica	2.926	149,53	112,40	Bahrain	83	0,06	0,004
Guiana Francesa	2.895	260,55	134,00	Argélia	89	211,50	11,25
Malásia	2.875	948,16	580,00	Mauritânia	92	94,82	0,40
Brunei	2.722	15,71	8,50	Jordânia	111	9,86	0,68
Indonésia	2.702	5.146,53	2.838,00	Kuwait	121	2,16	0,00
Panamá	2.692	203,30	147,42	Omã	125	38,69	1,40
Bangladesh	2.666	383,83	105,00	Níger	151	191,32	3,50
Martinica	2.631	2,89	-	Turquemenistão	161	78,73	1,36
Colômbia	2.612	2.974,61	2.112,00	Iêmen	167	88,17	2,10
Ilhas Fiji	2.592	47,36	28,55	Uzbequistão	206	92,30	16,34
Serra Leone	2.526	181,22	160,00	Tunísia	207	33,87	4,20
Singapura	2.497	1,55	0,60	Iraque	216	94,68	35,20
Nicarágua	2.391	310,86	189,74	Djibuti	220	5,10	0,30
Libéria	2.391	266,29	200,00	Cabo Verde	228	0,92	0,30
Guiana	2.387	513,11	241,00	Irã	228	397,89	128,50
Granada	2.350	0,80	-	Mongólia	241	377,37	34,80
Filipinas	2.348	704,34	479,00	Guadalupe	247	0,42	-
Suriname	2.331	380,58	88,00	Casaquistão	250	680,41	75,42
Seicheles	2.330	1,07	-	Síria	252	46,67	7,13
Santa Lúcia	2.301	1,43	-	Mali	282	349,73	60,00
Butão	2.200	103,40	95,00	Somália	282	179,82	6,00
Trindade e Tobago	2.200	11,29	3,84	Namíbia	285	234,92	6,16
Guiné Equatorial	2.156	60,48	26,00	Chade	322	413,45	15,00
Mianmá	2.091	1.414,59	880,60	Afeganistão	327	213,43	55,00
Equador	2.087	591,85	432,00	Marrocos	346	154,51	29,00

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

O Lago Baikal concentra uma enorme quantidade de água doce e está situado na região escassamente povoada da Sibéria. A África Subsaariana está razoavelmente bem dotada de água, mas a gestão da sua distribuição altera por completo este quadro. A República Democrática do Congo dispõe de mais de um quarto da água da região, enquanto países como o Quênia, o Malawi e a África do Sul ainda se encontram abaixo do limiar que define uma situação de pressão sobre os recursos hídricos (PNUD, 2006). Dispondo de 30% dos recursos universais de água doce, a América Latina tem 18 vezes mais água por habitante do que, por exemplo, a Ásia do Sul.

As necessidades mínimas de consumo de água *per capita* para manter a qualidade de vida adequada em regiões moderadamente desenvolvidas estão em valores próximos a 1.500 m³/ano. Quando essa disponibilidade fica abaixo deste valor diz-se que o país tem escassez de água o ano todo, ou em parte dele (FARMWEB, 2003). A ONU considera, ainda, que a escassez de água ocorre quando o consumo é maior do que 40% da descarga média, de longo prazo, dos rios da região onde está concentrada uma determinada população (MARSIGLIA NETO, 2002).

Os maiores volumes de recursos hídricos renováveis do mundo estão concentrados em sete países: Brasil, Rússia, Canadá, China, Indonésia, Colômbia e EUA, representando 58,5% (25.579,82 km³/ano) do suprimento renovável total de água doce, de 43.756,35 km³/ano (tabela 1.5).

A disponibilidade dos recursos hídricos renováveis e a disponibilidade hídrica social no planeta estão ilustradas nos mapas 1.1 e 1.2.

TABELA 1.5 - RANKING DOS PAÍSES MAIS RICOS EM RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS E EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006/2007

POSIÇÃO	PAÍS	RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS ⁽¹⁾ (km ³ /ano)	POSIÇÃO	PAÍS	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL ⁽²⁾ ANO 2006 (m ³ /hab./ano)
1	Brasil	8.233,00	1	Alasca ⁽⁵⁾	1.427.962
2	Rússia	4.507,25	2	Guiana Francesa	680.203
3	Canadá	2.902,00	3	Islândia	570.470
4	China ⁽³⁾	2.896,57	4	Guiana	326.116
5	Indonésia	2.838,00	5	Suriname	268.132
6	Colômbia	2.132,00	6	República do Congo	225.535
7	Estados Unidos ⁽⁴⁾	2.071,00	7	Butão ⁽⁵⁾	146.379
8	Peru	1.913,00	8	Papua-Nova Guiné	129.152
9	Índia	1.896,66	9	Gabão	125.095
10	Rep. Dem. do Congo	1.283,00	10	Ilhas Salomão	92.355
11	Venezuela	1.233,17	11	Canadá	89.081
12	Bangladesh	1.210,64	12	Noruega	81.816
13	Mianmá	1.045,60	13	Nova Zelândia	78.986
14	Alasca (EUA)	980,00	14	Peru	69.339
15	Chile	922,00	15	Bolívia	66.552
16	Vietnã	891,21	16	Belize	65.798
17	República do Congo	832,00	17	Libéria	64.823
18	Argentina	814,00	18	Laos	57.918
19	Papua-Nova Guiné	801,00	19	Chile	55.998
20	Bolívia	622,53	20	Paraguai	55.851
21	Groenlândia	603,00	21	Guiné Equatorial	52.419
22	Malásia	580,00	22	Colômbia	46.797
23	Austrália	492,00	23	Venezuela	45.352
24	Filipinas	479,00	24	Panamá	45.006
25	Camboja	476,11	25	Brasil	43.487
26	México	457,22	26	Uruguai	41.729
27	Equador	432,00	27	Nicarágua	35.555
28	Japão	430,00	28	Ilhas Fiji	34.274
29	Tailândia	409,94	29	Rep. Centro-Africana	33.857
30	Noruega	382,00	30	Camboja	33.536

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

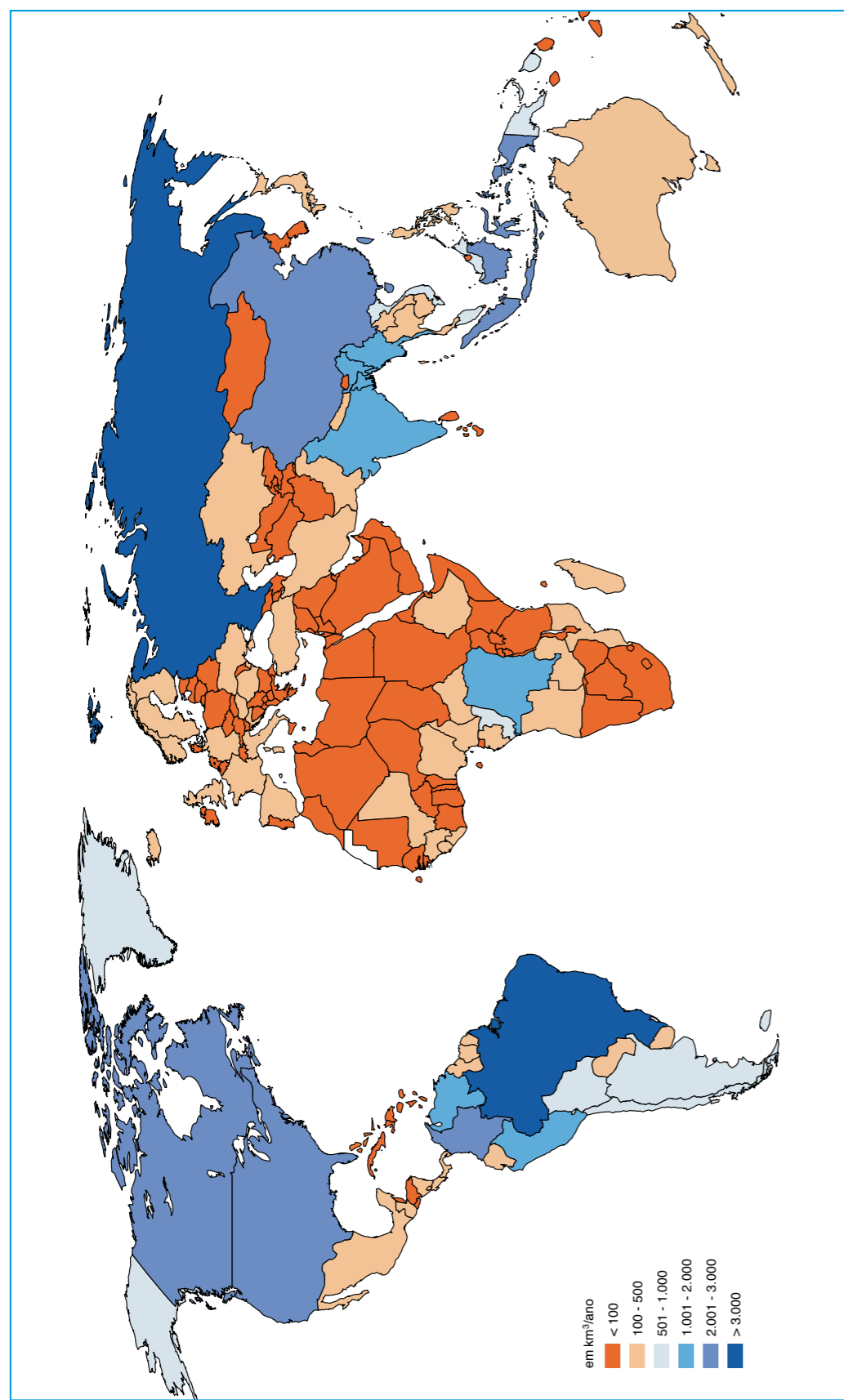
NOTAS: (1) Recursos hídricos renováveis totais – é a soma dos recursos hídricos internos e externos, correspondendo à quantidade máxima de água disponível anualmente em um país.

(2) Excluindo-se Spitsbergen (13.279.773 m³/hab./ano) e a Groenlândia (10.432.526 m³/hab./ano), que apresentam elevada disponibilidade hídrica social devido à baixa densidade demográfica (2.116 e 57.800 hab., respectivamente).

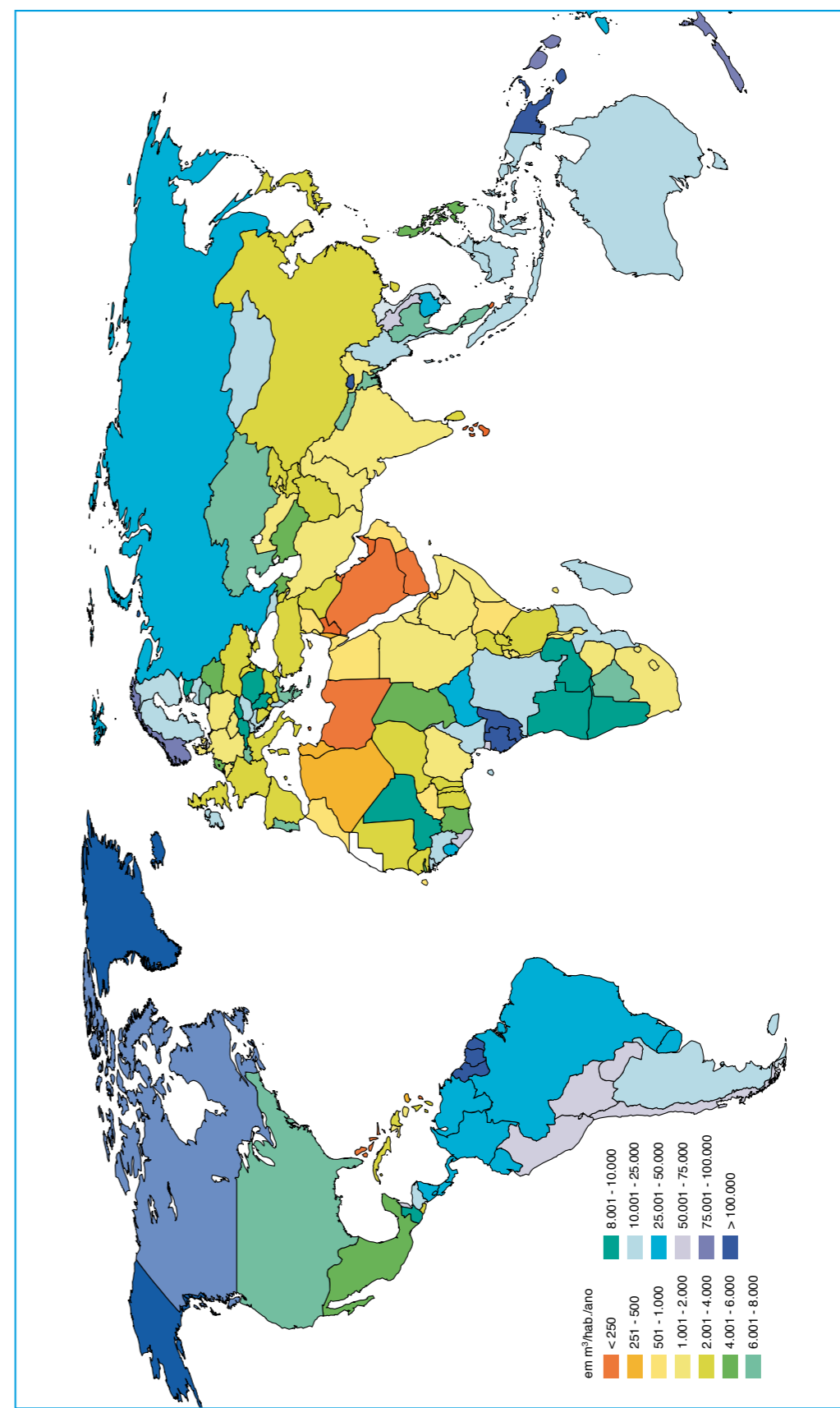
(3) China – incluindo Hong Kong, Macau e Taiwan.

(4) Estados Unidos da América – sem o Alasca, Havai, Haiti e Porto Rico.

(5) Butão – cálculo sobre a população de 2004; Alasca (EUA) - cálculo sobre a população estimada de 2008.



MAPA 1.1 – DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS NO PLANETA
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)



MAPA 1.2 – DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NO PLANETA
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A irregularidade na distribuição dos recursos hídricos, entretanto, faz com que alguns países sejam extremamente pobres em água, e outros muito ricos (tabela 1.6). Países desérticos, como o Kuwait, Arábia Saudita e Líbia, e pequenos países insulares, como Maldivas, Qatar e as ilhas Bahamas, possuem menos de 100 m³/hab./ano na disponibilidade hídrica social. Regiões como a Islândia, as Guianas, a República do Congo, Gabão, Butão e algumas ilhas da Oceania têm mais de 100.000 m³/hab./ano (SBPC, 2000).

TABELA 1.6 - PAÍSES MAIS RICOS E MAIS POBRES EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006

MAIOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL ⁽¹⁾			MENOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL		
País	Disponibilidade Hídrica		País	Disponibilidade Hídrica	
	m ³ /hab./ano	km ³ /ano		m ³ /hab./ano	km ³ /ano
Guiana Francesa	680.203	134,00	Kuwait	7	0,02
Islândia	570.470	170,00	Emirados Árabes Unidos	35	0,15
Guiana	326.116	241,00	Bahamas	61	0,02
Suriname	268.132	122,00	Qatar	71	0,06
República do Congo	225.535	832,00	Iêmen	97	2,10
Butão ⁽²⁾	146.379	95,00	Arábia Saudita	99	2,40
Papua-Nova Guiné	129.152	801,00	Líbia	99	0,60
Gabão	125.095	164,00	Maldivas	100	0,03
Ilhas Salomão	92.355	44,70	Malta	125	0,05
Canadá	89.081	2.902,00	Singapura	137	0,60

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

NOTAS: (1) Excluindo-se Spitsbergen (13.279.773 m³/hab./ano), Groenlândia (10.432.526 m³/hab./ano) e Alasca (1.427.962 m³/hab./ano).

(2) Butão – cálculo sobre a população de 2004.

Dos dez países mais ricos em disponibilidade de água por habitante anualmente, apenas quatro (República do Congo, Papua-Nova Guiné, Canadá e Groenlândia) encontram-se entre os trinta países mais ricos em recursos hídricos do mundo. Além disso, somente o Butão localiza-se na Ásia, embora esse continente apareça logo após a América do Sul como uma das regiões mais ricas em recursos hídricos do planeta. A Guiana Francesa, Guiana e Suriname estão na América do Sul; Canadá, Groenlândia e Alasca, na América do Norte; República do Congo e Gabão na África; Islândia na Europa, e Papua-Nova Guiné e Ilhas Salomão na Oceania.

Já os dez países mais pobres em disponibilidade hídrica social estão, também, entre os trinta mais pobres em recursos hídricos. Com exceção de Malta (Europa), as Bahamas

(América Central) e Líbia (África), os demais países pertencem à Ásia e, entre esses, apenas Maldivas e Singapura não estão localizados no Oriente Médio, que com uma área aproximada de 7 milhões de km², uma população de cerca de 297 milhões de habitantes e dispendo de um potencial hídrico de 523,57 km³/ano e uma reserva anual média de aproximadamente 856 m³/hab., é considerada a região do mundo mais atingida pela pressão da falta de água; sendo que, somente a Turquia, o Iraque e o Irã encontram-se acima do limiar mínimo que define a situação de falta de água (1.700 m³/hab./ano). Os palestinos, sobretudo em Gaza, experimentam algumas das crises mais agudas de escassez de água do mundo inteiro.

Em 2000, aproximadamente, 4,1 bilhões de pessoas (68% da população mundial), em 88 países já se encontravam vivendo sob a condição de disponibilidade de água abaixo de 5.000 (m³/hab./ano), sendo que cerca de 254 milhões dessas pessoas estavam diante de escassez de água (< 500 a ≤ 1.000 m³/hab./ano), principalmente, em países do Norte da África e do Oriente Médio. Apenas 19,3% da população mundial concentravam-se em regiões com disponibilidade hídrica social confortável (acima de 10.000 m³/hab./ano) (tabela 1.7).

Em 2006, o número de pessoas vivendo sob a condição de disponibilidade de água abaixo de 5.000 (m³/hab./ano) subiu para cerca de 4,5 bilhões de pessoas (69% da população mundial), verificando-se um acréscimo de 10%. Desse número de pessoas, cerca de 2,3 bilhões (33% da população mundial, em 53 países) já estavam vivendo sob a condição de disponibilidade de água abaixo de 2.000 m³/hab./ano, com um acréscimo de 24%, equivalente a cerca de 444 milhões de pessoas do ano de 2000 para 2006, principalmente, em países da África, Oriente Médio e Caribe (tabela 1.7).

TABELA 1.7 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE PAÍSES E POPULAÇÃO SEGUNDO O GRAU DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NO PLANETA – 2000 e 2006

GRAUS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA (m ³ /hab./ano)	2000			2006		
	Nº DE PAÍSES	POPULAÇÃO	%	Nº DE PAÍSES	POPULAÇÃO	%
Inferior crítico (< 500)	19	109.930.000	1,8	19	127.102.800	1,9
Catastroficamente baixo (< 1.000)	9	143.710.000	2,4	9	179.333.100	2,7
Crítico (1.001 - 2.000)	23	1.603.494.000	26,5	25	1.994.411.000	30,3
Baixo (2.001 - 5.000)	37	2.275.895.000	37,6	38	2.242.633.000	34,0
Médio (5.001 - 10.000)	26	748.899.431	12,4	26	814.005.000	12,4
Alto (10.001 - 100.000)	56	1.154.581.537	19,1	53	1.217.694.198	18,5
Muito alto (> 100.001)	10	11.808.932	0,2	11	14.284.093	0,2
TOTAL	180	6.048.318.900	100,0	181	6.589.463.191	100,00

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2002) e FAO (2009)

De acordo com o Relatório de Desenvolvimento Humano 2006 (PNUD, 2006), cerca de 538 milhões de pessoas do Norte da China viviam numa região intensamente afetada pela pressão sobre os recursos hídricos. Globalmente, cerca de 1,4 bilhão de pessoas viviam em zonas de bacias fluviais, onde a utilização da água ultrapassa os níveis sustentáveis, ou seja, os níveis mínimos de reposição, conduzindo à exaustão de importantes rios do mundo que secam durante parte do ano e já não conseguem atingir o mar.

Ásia, África e Europa são os continentes menos favorecidos com água disponível ao consumo humano. A América Latina, mesmo possuindo a melhor condição quanto à disponibilidade de água, enfrenta problemas de escassez desse recurso devido à má distribuição, provocada pela falta de gerenciamento (GONÇALVES et al., 2001).

África e Oriente Médio são regiões bastante populosas (943,3 e 296,6 milhões de habitantes, respectivamente) e com graves conflitos internos. A África, em razão da escassez de alimentos, transformou-se em um permanente campo de miséria e desnutrição. O Oriente Médio, com seus problemas religiosos, transformou-se em um permanente campo de guerra. Sendo assim, os problemas relativos à escassez de água que já ocorrem nessas regiões, e que tendem a piorar num futuro bem próximo, muito irão contribuir para que surja um novo conflito, que será o mais grave de todos, no qual o “pior inimigo” será a carência do elemento essencial para a vida – a água.

A disponibilidade de água em todos os continentes tende a diminuir cada vez mais, demonstrando a real necessidade de se rever o sistema de consumo e a solução do problema de disponibilidade em curto prazo (GONÇALVES et al., 2001). A conscientização da sociedade e a sua participação na preservação dos recursos hídricos, associada ao controle do crescimento populacional, poderiam representar, em curto prazo, medidas prioritárias para evitar a escassez de água nos próximos anos.

O consumo de água estimado até o ano de 2025 indica que haverá um crescimento de captação de água correspondente a 4.360 km³ em 2010 e 5.187 km³ em 2025, e as perdas constituirão cerca de 45% do volume derivado dos mananciais. Portanto, a água que evaporará ou será consumida corresponderá a 55% daquela que será captada dos mananciais. Mudanças climáticas poderão contribuir com aproximadamente 20% no agravamento da escassez de água no mundo. A percentagem de água restante (45%) retornará aos sistemas naturais de drenagem, porém, em geral, em classes de qualidade inferior, devido ao crescimento dos níveis de poluição e aumento da temperatura da água (SHIKLOMANOV, 1999).

Estimativas – baseadas nos dados da FAO/AQUASTAT, 2009 – consideram que, em 2025, cerca de 3,3 bilhões de pessoas da população mundial projetada poderá estar vivendo sob condições de disponibilidade hídrica social abaixo de 1.500 m³/hab./ano (tabela 1.8),

a grande maioria estará na África e no sul da Ásia, onde se localizam os maiores bolsões de pobreza e fome – incluindo Nigéria, Etiópia, Quênia e Índia. Na África Subsaariana, a porcentagem da população residente em países ameaçados pela falta de água aumentará de 31%, em 2000, para 72% (942 milhões de pessoas), em 2025. Verificar-se-á o agravamento dos problemas hídricos no Oriente Médio e no Norte de África, com a disponibilidade média de água situada em cerca de 557 m³/hab./ano, e com aproximadamente 84% da população da região vivendo em países atingidos pela escassez de água. Ao mesmo tempo, a maior disponibilidade hídrica social apresentar-se-á no Norte da Europa, Canadá e Alasca, quase que totalmente na América do Sul, África Central, Sibéria, Extremo Oriente e Oceania (SHIKLOMANOV, 1999).

Em 2050, o número de pessoas, vivendo sob condições de disponibilidade hídrica social abaixo de 1.500 m³/hab./ano poderá atingir cerca de 6,3 bilhões (50% da população mundial projetada) em 66 países, principalmente, na África (36%) e na Ásia (62%), incluindo todo o Oriente Médio.

TABELA 1.8 - DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO MUNDIAL PROJETADA SEGUNDO O GRAU DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2025 e 2050

GRAU DE DISPONIBILIDADE m ³ /hab./ano	2025		2050	
	POPULAÇÃO		POPULAÇÃO	
	TOTAL	(%)	TOTAL	(%)
< 500	221.231.204,99	2,57	1.792.973.541,61	14,30
501-1.000	776.491.734,17	9,03	3.929.824.537,90	31,35
1.001-2.000	4.223.132.093,03	49,11	2.469.525.226,64	19,70
2.001-3.000	353.007.858,56	4,11	809.790.844,96	6,46
3.001-5.000	614.069.324,12	7,14	1.304.170.211,69	10,40
5.001-10.000	1.294.466.243,69	15,05	1.050.845.255,03	8,38
10.001-20.000	343.729.260,00	4,00	276.541.201,86	2,21
20.001-100.000	753.913.826,75	8,77	889.408.858,38	7,09
>100.001	11.664.699,51	0,14	3.966.233,54	0,03
TOTAL	8.598.780.626,64	100,00	12.536.906.385,24	100,00

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Tais estimativas despertaram a atenção e a preocupação de comunidades científicas e políticas, em nível mundial, para a escassez da água já vivenciada em várias regiões e muitos ainda não compreendem por que o desperdício e a degradação dos mananciais hídricos constituem um problema, se do ponto de vista global existe água mais do que

suficiente para todos e para satisfazer todas as necessidades da humanidade. Porém, é fácil compreender tal preocupação, quando levamos em consideração que a água encontra-se desigualmente distribuída entre os países e no interior dos mesmos; que o acesso à água enquanto recurso produtivo exige o acesso a infraestrutura e que em muitos países a escassez é produto de políticas públicas que têm encorajado a utilização abusiva de água, exercendo a pressão sobre os recursos hídricos que se reflete no estresse ecológico.

Os sintomas mais visíveis dessa pressão hídrica são o declínio de sistemas fluviais que já não conseguem atingir o mar, a contração dos lagos e a queda dos lençóis freáticos (BROWN, 2003).

O rio Colorado, o principal do sul dos Estados Unidos, mal chega ao mar. Quando este rio fluía para o Golfo da Califórnia, proporcionava uma pesca volumosa, que foi afetada pela salinidade aumentada. O rio Amarelo, na China, secou em 1997, deixando de alcançar o mar durante cerca de 226 dias. Quase todo ano, o baixo rio Amarelo seca completamente antes de alcançar o mar, privando os agricultores da jusante de água de irrigação. O Indu e o Ganges mal atingem o mar durante a estação seca. Pouca água do Nilo chega ao Mediterrâneo, em qualquer época do ano, e o Egito, onde as chuvas são muito escassas, é totalmente dependente do Nilo. O Jordão, que flui do Líbano para Israel, onde se junta ao Mar da Galileia e posteriormente desemboca no Mar Morto, está sendo pressionado e conseqüentemente, o nível de água do Mar da Galileia está caindo gradativamente e o Mar Morto está encolhendo.

Grandes lagos interioranos, particularmente o Mar de Aral, na Ásia Central, e o Lago Chad, na África, são exemplos da utilização abusiva da água. O Mar de Aral, compartilhado entre o Casaquistão e o Uzbequistão, já foi o quarto maior lago interiorano do mundo, cobrindo 68 mil km², e uma das regiões mais férteis do planeta. Os dois rios que o alimentam, o Amu Dária e o Sir Dária, foram desviados para o cultivo de algodão na Turquia e no Uzbequistão, dentro de um plano soviético. Desde 1960, o mar recuou 12 metros; sua área encolheu 40% e seu volume 66%. Cidades, outrora costeiras, hoje distam 50 km da água. À medida que o mar encolheu, a concentração salina das suas águas aumentou, impedindo a sobrevivência dos peixes. Conseqüentemente, o pesqueiro, que já produziu um total de 60 mil toneladas por ano na década de 60, não existe mais.

Situado na fronteira entre o Chade, Níger, Nigéria e Camarões, o Lago Chad teve sua capacidade diminuída pela captação de suas águas para a irrigação de cultivos. Nos anos 60 a sua área era de 26.000 km², sendo o quarto maior lago de África. Em 2000, sua extensão estava reduzida a menos de 1.500 km² e em 2006 era de apenas 900 km².

Mundialmente, áreas alagadas de água doce – ecossistemas que realizam o serviço de purificação da água – diminuíram pela metade. Pelo menos 20% das 10 mil espécies

de peixe de água doce estão ameaçadas de extinção ou já estão extintas (ESTADO DO MUNDO, 2004).

A utilização abusiva da água para a irrigação e para as cidades leva igualmente ao esgotamento das águas subterrâneas, representando uma grave ameaça para os sistemas agrícolas, para a segurança alimentar e para os meios de subsistência na Ásia e no Oriente Médio (PNUD, 2006). Em partes das bacias do Huai, Hai e Huang (Amarelo), na China, a extração de águas constitui 140% de abastecimento renovável – fato que explica a rápida diminuição dos principais sistemas fluviais e a redução das águas subterrâneas.

Como se não bastasse o uso insustentável dos recursos hídricos, a negligência dos governos, principalmente nas grandes cidades, na manutenção das tubulações e adutoras das redes de abastecimento de água para a população, e na identificação e fiscalização de conexões ilegais e contabilidade falha, podem gerar uma perda de água que chega a 75% em alguns países, quando o índice aceitável de perdas, pelo padrão internacional, seria em torno de 20% (Antônio Félix DOMINGUES, 2006, comunicação pessoal), tabela 1.9.

Dentro das nossas casas, cerca de 15% de água tratada é perdida devido a vazamentos nas canalizações. Taiwan perde quase dois milhões de m³ diariamente com vazamentos, volume equivalente a 325 milhões de descargas de sanitários. Calcula-se que essas perdas atinjam US\$ 200 milhões ao ano (ESTADO DO MUNDO, 2004).

TABELA 1.9 - VAZAMENTOS E PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ALGUNS PAÍSES

PAÍS	ÁREA DE SERVIÇO	PERDAS MÉDIAS NO SUPRIMENTO TOTAL (%)
Albânia	Nacional	até 75
França	Nacional	até 50
	Paris	30
Jordânia	Nacional	48
África do Sul	Joanesburgo	42
	Tshwane (Pretória)	24
Quênia	Nairobi	40
Canadá	Kingston, Ontário	38
Espanha	Nacional	24 a 34
Estados Unidos	Nacional	10 a 30
	Bethlehem	27
Taiwan	Nacional	25
	Taipei	42
Rep. Theca	Nacional	20 a 30
Singapura	Nacional	5
Japão	Fukuoka	5
Dinamarca	Copenhague	3

FONTE: Estado do Mundo (2004)

4.1 Disponibilidade de água nos continentes

4.1.1 América do Sul

A América do Sul é conhecida em todo o mundo pelos seus abundantes recursos de água doce superficial, que incluem as bacias dos rios de grande magnitude, como o Amazonas (6.112.000 km²), o Prata (3.140.000 km²) e o Orinoco (906.500 km²), segundo a UNESCO (2003).

Os três países do norte da América do Sul - Guiana Francesa, Guiana e Suriname - apresentaram, em 2006, os maiores valores de disponibilidade hídrica social, com 680.203, 316.116 e 268.132 m³/hab./ano, respectivamente, mesmo tendo os menores potenciais hídricos do continente (gráfico 1.8). Já o Brasil, o país mais rico em recursos hídricos do mundo, apresentou uma disponibilidade hídrica social de 43.487 m³/hab./ano, apenas superior ao Uruguai, Equador e Argentina.

Os países mais pobres em potencial hídrico do continente são o Uruguai, a Guiana Francesa e o Suriname, porém com valores acima da maioria dos países europeus e africanos, e de todos os países do Oriente Médio.

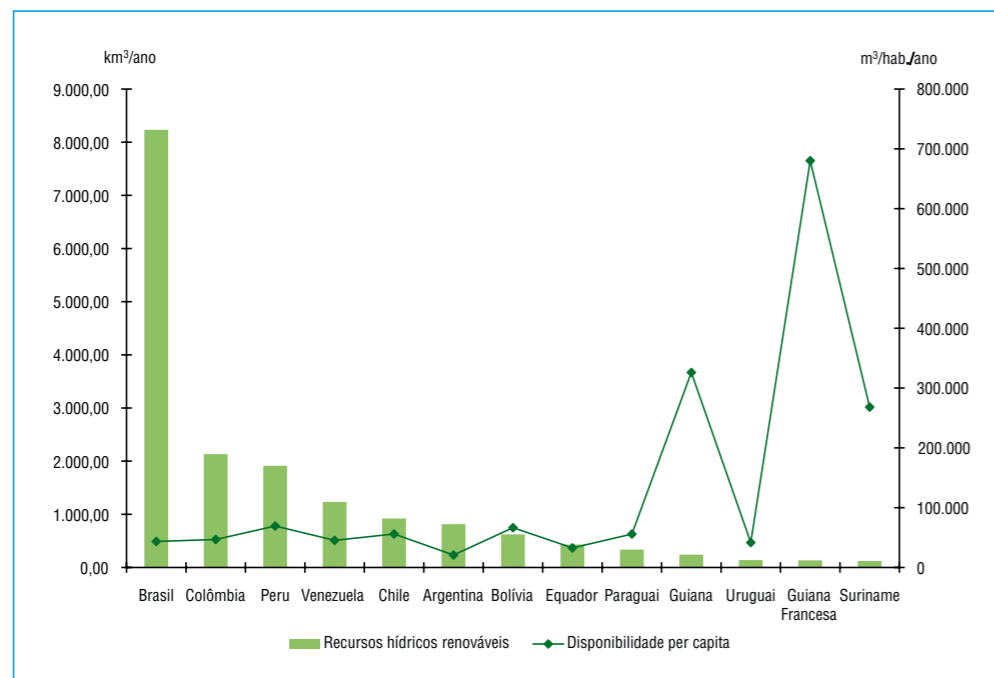


GRÁFICO 1.8 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NOS PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Mesmo com o maior potencial hídrico do mundo concentrado em sua região, a disponibilidade da água, na América do Sul, apresenta, entretanto, uma distribuição desoladora em alguns países, encabeçada pela coexistência de zonas áridas e semiáridas de

extensão considerável. Em mais de 10% (1.852.000 km²) da área total, a média de precipitação é de 247 mm anuais, com valores mínimos de 40 mm anuais em vastas zonas do norte do Chile. Áreas como esta e do Nordeste do Brasil apresentam grandes dificuldades para resolver as necessidades de água (UNESCO, 2003).

Além disso, ocasionalmente, grandes concentrações humanas verificam-se em áreas onde os recursos hídricos são menores e é comum a falta de água em algumas grandes cidades do Brasil. Essa falta de água é decorrente, muitas vezes, dos fatores climáticos, das falhas de suprimento e da cultura de desperdício presente em qualquer região do Brasil pela falsa ideia de abundância (DRM, 2003).

4.1.2 Ásia

A Ásia é o segundo continente com os maiores volumes em recursos hídricos renováveis, mas também é onde estão localizados os países mais pobres em água do planeta, mais especificamente os do Oriente Médio.

Os países asiáticos mais ricos em recursos hídricos renováveis são a China (2.896,6 km³/ano), Indonésia (2.838,0 km³/ano), Índia (1.896,7 km³/ano), Bangladesh (1.210,6 km³/ano) e Mianmá (1.045,6 km³/ano) e também se encontram entre os mais populosos do continente.

Curiosamente, dos seis países mais ricos em disponibilidade hídrica social em 2006, apenas Mianmá, Camboja e Malásia estão entre os dez mais ricos em potencial de recursos hídricos renováveis (gráfico 1.9). Chama a atenção Brunei, que apesar de apresentar baixo potencial hídrico (8,5 km³/ano), teve a quarta melhor disponibilidade hídrica social do continente, com 22.251 m³/hab./ano.

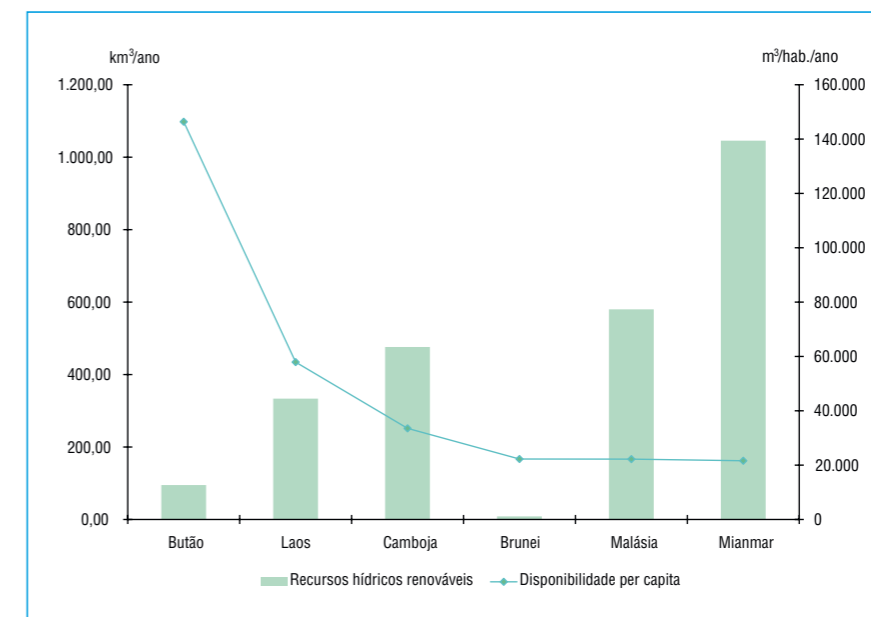


GRÁFICO 1.9 – PAÍSES ASIÁTICOS MAIS RICOS EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A China, em 2006, tinha 1,3 bilhão de habitantes (20% da população mundial), mas apenas 7% da água doce do planeta – sendo a maior parte concentrada na região sul do país e uma disponibilidade hídrica social de 2.180 m³/hab./ano. A Planície Norte da China, que inclui o rio Amarelo, é uma das regiões mais populosas do mundo com escassez hídrica. Abrigando cerca de 450 milhões de pessoas, seu suprimento *per capita* de água é de menos de 500 m³ por ano. A Planície Norte produz um quarto dos grãos da China e o consumo de água supera o suprimento sustentável (ESTADO DO MUNDO, 2004).

Em 2006, dezessete países asiáticos já apresentavam grau de disponibilidade hídrica social abaixo de 1.700 m³/hab./ano, entre eles, Ilhas Maldivas (100 m³/hab./ano), Singapura (137 m³/hab./ano), Paquistão (1.384 m³/hab./ano), Coreia do Sul (1.451 m³/hab./ano), Índia (1.647 m³/hab./ano) e quase todos os países que fazem parte do Oriente Médio, onde encontramos as menores disponibilidades hídricas sociais do planeta (tabela 1.10).

TABELA 1.10 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NOS PAÍSES DO ORIENTE MÉDIO – 2006

PAÍS	POPULAÇÃO	RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS (km ³ /ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL (m ³ /hab./ano)
Turquia	73.922.000	213,56	2.889
Iraque	28.506.000	75,61	2.652
Afganistão	26.088.000	65,00	2.492
Irã	70.270.000	137,52	1.957
Líbano	4.055.000	4,50	1.110
Chipre	846.000	0,78	922
Síria	19.408.000	16,80	865
Omã	2.546.000	1,40	550
Israel	6.810.000	1,78	261
Palestina	3.889.000	0,84	215
Jordânia	5.729.000	0,94	164
Bahrain	739.000	0,12	157
Arábia Saudita	24.175.000	2,40	99
Iêmen	21.732.000	2,10	97
Qatar	821.000	0,06	71
Emirados Árabes Unidos	4.248.000	0,15	35
Kuwait	2.779.000	0,02	7
TOTAL	296.563.000	523,57	1.765

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.1.3 América do Norte

Na América do Norte, os maiores volumes de recursos hídricos encontram-se no Canadá (2.902,0 km³/ano) e Estados Unidos (2.071,0 km³/ano), enquanto que no México o potencial hídrico é de apenas 457,2 km³/ano. O Alasca com 980 km³/ano é, tecnicamente, analisado separadamente dos Estados Unidos, e a Groenlândia com 603 km³/ano, que é um território da Dinamarca, está incluída na América do Norte, meramente por

uma questão geográfica. A Groenlândia e o Alasca apresentaram os maiores valores de disponibilidade hídrica social do mundo (10.432.526 e 1.427.962 m³/hab./ano, respectivamente); valores elevadíssimos em comparação com os demais países, e que, por isso mesmo, não foram incluídos no gráfico 1.10. O Canadá teve uma disponibilidade hídrica social consideravelmente maior que a dos Estados Unidos, devido à sua baixa densidade populacional.

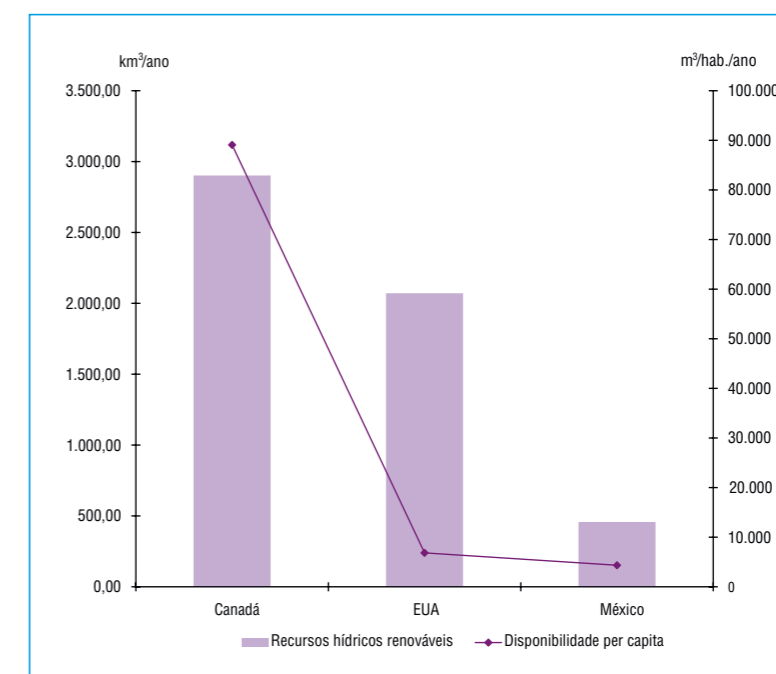


GRÁFICO 1.10 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NOS PAÍSES DA AMÉRICA DO NORTE – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.1.4 Europa

A Europa caracteriza-se por ser um continente pobre em recursos hídricos. Com exceção da Rússia, que possui um potencial de recursos hídricos de 4.507,2 km³/ano (gráfico 1.11), os demais países apresentam taxas que variam de 0,051 km³/ano (Malta) até 382 km³/ano (Noruega), sendo que Malta é, também, o país europeu mais pobre em disponibilidade hídrica social e está entre os dez mais pobres em água do mundo. A Islândia é o país com a maior disponibilidade hídrica social da Europa, com 570.470 m³/hab./ano e recursos hídricos renováveis de 170,0 km³/ano, e não foi incluído no gráfico 1.11 por apresentar um valor muito elevado para o primeiro parâmetro.

Antes de 1991, em função da União Soviética, a Rússia não era computada nas estatísticas referentes ao continente europeu. Nesse cenário, cabia à Noruega o posto de país com o maior potencial hídrico, seguida pela Romênia, Sérvia/Montenegro, França, Itália e Suécia. No contexto atual, a Rússia assume o primeiro posto.

Considerando os dados de 2006, os países escandinavos foram os que apresentaram as maiores disponibilidades hídricas sociais, juntamente com a Rússia, Croácia e Sérvia/

Montenegro (gráfico 1.11). A Noruega apresentou uma disponibilidade de 81.816 m³/hab./ano, bem maior que a do Brasil.

Metade dos países europeus enquadra-se no grau “médio/alto” de disponibilidade hídrica social (de 5.100 a 20.000 m³/hab./ano). Os países em pior situação hídrica são a Dinamarca, República Checa, Polônia, Bélgica, Alemanha, (de 1.105 a 1.863 m³/hab./ano) e Malta, com grau de disponibilidade social catastroficamente baixo, igual a 125 m³/hab./ano.

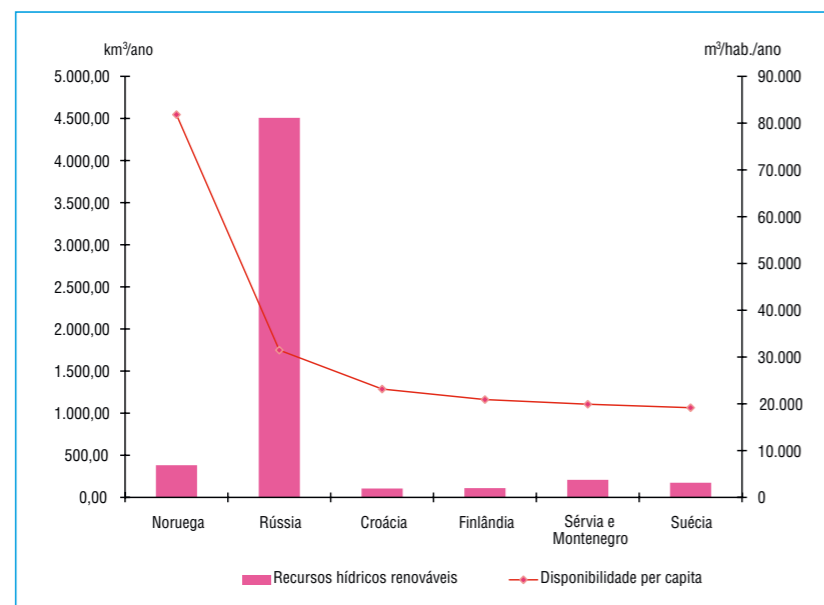


GRÁFICO 1.11 – PAÍSES EUROPEUS MAIS RICOS EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.1.5 África

Na África, apenas a República Democrática do Congo (Zaire) e a República do Congo apresentam valores altos em recursos hídricos renováveis (1.283,0 e 832,0 km³/ano, respectivamente). Os demais países apresentam volumes que variam de 0,30 a 337,0 km³/ano, conferindo ao continente a característica de pobreza em recursos hídricos. A República do Congo possui a maior disponibilidade hídrica social da África e uma das maiores do planeta (225.535 m³/hab./ano), gráfico 1.12.

Note-se que a Guiné Equatorial possui um potencial hídrico renovável de apenas 26 km³/ano, que está entre os menores do continente, porém a sua disponibilidade per capita (52.419 m³/hab./ano) está entre as maiores da África e do mundo.

Cerca de 65% dos países africanos encontravam-se com grau de disponibilidade hídrica social abaixo de 500 a 5.000 m³/hab./ano, em 2006. Entre esses, dezoito países já apresentavam “estresse hídrico”, ou seja, grau abaixo de 1.700 m³/hab./ano (tabela 1.11). Líbia, Argélia, Djibuti e Tunísia enquadravam-se no nível de escassez absoluta de água (< 500 m³/hab./ano).

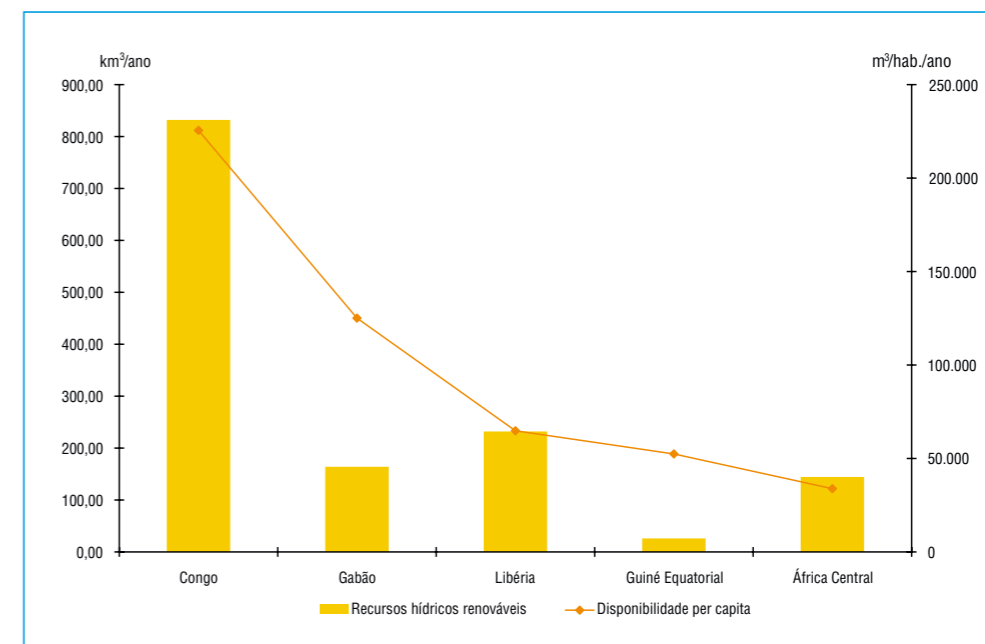


GRÁFICO 1.12 – PAÍSES AFRICANOS MAIS RICOS EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

TABELA 1.11 - PAÍSES AFRICANOS MAIS POBRES EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006

PAÍS	POPULAÇÃO	RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS (km³/ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL (m³/hab./ano)
Burundi	8.173.000	12,46	1.534
Lesoto	1.995.000	3,02	1.515
Zimbábue	13.228.000	20,00	1.512
Etiópia	81.021.000	122,00	1.506
Comores	818.000	1,20	1.467
Eritreia	4.692.000	6,30	1.343
Malawi	13.571.000	17,28	1.273
África do Sul	48.282.000	50,00	1.036
Ruanda	9.464.000	9,50	1.004
Marrocos	30.853.000	29,00	940
Burkina Faso	14.358.000	12,50	871
Quênia	36.553.000	30,70	840
Egito	74.166.000	57,30	773
Cabo Verde	519.000	0,30	578
Tunísia	10.215.000	4,59	450
Djibuti	819.000	0,30	366
Argélia	33.351.000	11,67	350
Líbia	6.039.000	0,60	99
TOTAL	388.117.000	388,800	1.001,760

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.1.6 Oceania

A Oceania é, igualmente à América Central, um continente que possui os mais baixos volumes de recursos hídricos ($1.721,6 \text{ km}^3/\text{ano}$), no entanto os seus países apresentam valores de disponibilidade hídrica social, posicionados entre os mais altos do planeta (129.152 a $23.965 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$) (gráfico 1.13).

O Havaí, embora seja um dos 50 estados que formam os Estados Unidos, foi inserido na Oceania apenas por uma questão geográfica, apresentando $14.284 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$.

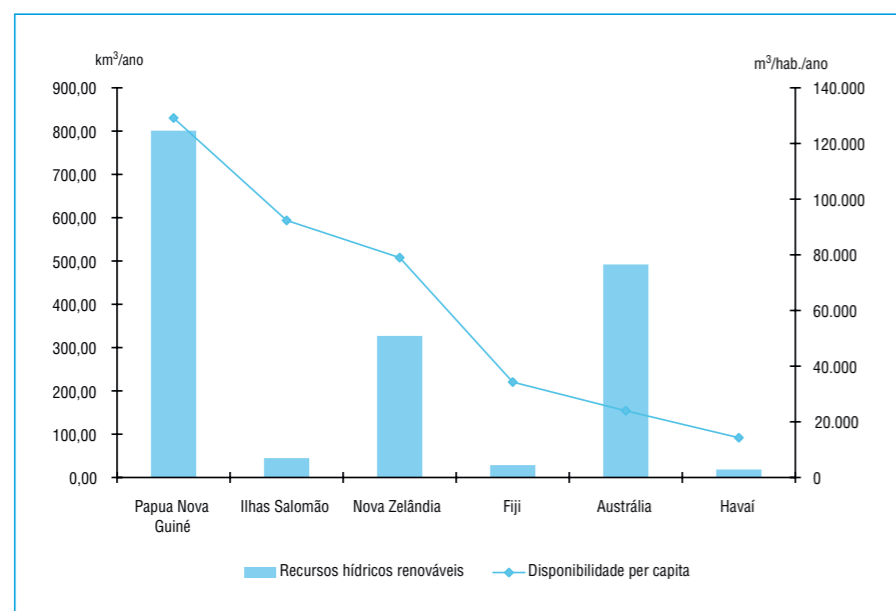


GRÁFICO 1.13 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NOS PAÍSES DA OCEANIA – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.1.7 América Central e Caribe

A América Central compreende sete países que cobrem uma área total de aproximadamente 521.600 km^2 , mais o Caribe. O istmo em seu conjunto tem uma variação de precipitação média anual que oscila entre 400 mm até 7.500 mm , apresentando características de regimes muito variados, desde semiárido até tropical. O continente apresenta volumes baixos em recursos hídricos ($0,020$ a $196,7 \text{ km}^3/\text{ano}$), mesmo sendo um continente caracterizado por climas tropicais quentes que proporcionam uma riqueza hídrica superior à de muitos países, e onde não deveria existir problema algum de disponibilidade de água. São notáveis os altos níveis de precipitação na área que compreende o sul da Nicarágua, Costa Rica e certas zonas

do Atlântico panamenho. Porém, existem áreas na Guatemala e Nicarágua que registram médias de precipitação próximas aos 500 mm/ano (UNESCO, 2003).

Além disso, a região possui uma grande diversidade de microclimas, devido às diferenças de altitude e ao fato da sua porção continental ser bastante estreita, convertendo-a em uma zona altamente vulnerável à influência dos regimes oceânicos do Pacífico e do Atlântico. Os rios na vertente do Pacífico são curtos, dificultando a captação de água para uso humano. Em contraste, a vertente do Atlântico e do Mar do Caribe tem rios mais largos, cujos caudais são abundantes durante quase todo o ano. Portanto, cada país da América Central e do Caribe é afetado de maneira significativamente distinta, conforme as vertentes dos dois oceanos. El Salvador, que não está na vertente do Atlântico, apresenta uma situação de desvantagem considerável.

Seis países apresentam uma situação hídrica social confortável e são, justamente, os que se localizam no estreito entre o Atlântico e o Pacífico (gráfico 1.14). São Cristóvão e Neves, Barbados e as Bahamas apresentaram, em 2006, grau de disponibilidade hídrica social inferior a $500 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$, e Antígua e Barbuda teve uma disponibilidade hídrica *per capita* de 618 m^3 . A região caribenha, mesmo dotada de água, tem a sua disponibilidade hídrica social convertida em um dos principais fatores que ameaçam o desenvolvimento socioeconômico, pois os governos caribenhos têm tido dificuldade em prover abastecimento suficiente de água para a demanda e necessidades da população, ao mesmo tempo em que não conseguem manter os níveis de qualidade da água, dadas as crescentes demandas causadas pelo alto crescimento populacional e econômico (UNESCO, 2003).

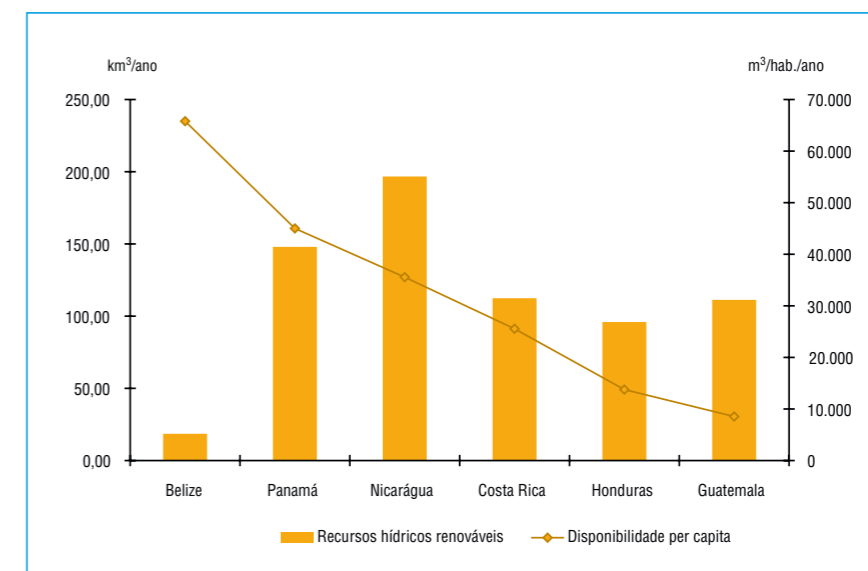


GRÁFICO 1.14 – PAÍSES DA AMÉRICA CENTRAL E CARIBE MAIS RICOS EM DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.2 Disponibilidade de água nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani

Dos quatro países onde ocorre o Aquífero Guarani (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai), o Brasil tem o maior potencial hídrico, mas a melhor disponibilidade hídrica social foi apresentada pelo Paraguai, no ano de 2000 (FAO, 2002a). O Uruguai tem o menor potencial hídrico, porém melhor distribuído para a sua população do que a Argentina, que tem o segundo maior volume de recursos hídricos entre os quatro países (tabela 1.12 e gráfico 1.15).

TABELA 1.12 - RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS NOS PAÍSES ABRANGIDOS PELO AQUÍFERO GUARANI - 2006

PAÍS	POPULAÇÃO	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm/ano)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (km³/ano)	RHIR ⁽¹⁾ (km³/ano)	RHTR ⁽²⁾ (km³/ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL (m³/hab./ano)
Brasil	189.323.000	1.783	15.177,77	5.418,00	8.233,00	43.487
Argentina	39.134.000	591	1.642,10	276,00	814,00	20.800
Paraguai	6.016.000	1.130	459,55	94,00	336,00	55.851
Uruguai	3.331.000	1.265	222,87	59,00	139,00	41.729
TOTAL	237.804.000	1.192	4.375,57	5.847,00	9.522,00	40.041

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

NOTA: (1) RHIR - Recursos Hídricos Internos Renováveis Anuais.

(2) RHTR - Recursos Hídricos Totais Renováveis Anuais ou escoamento superficial total.

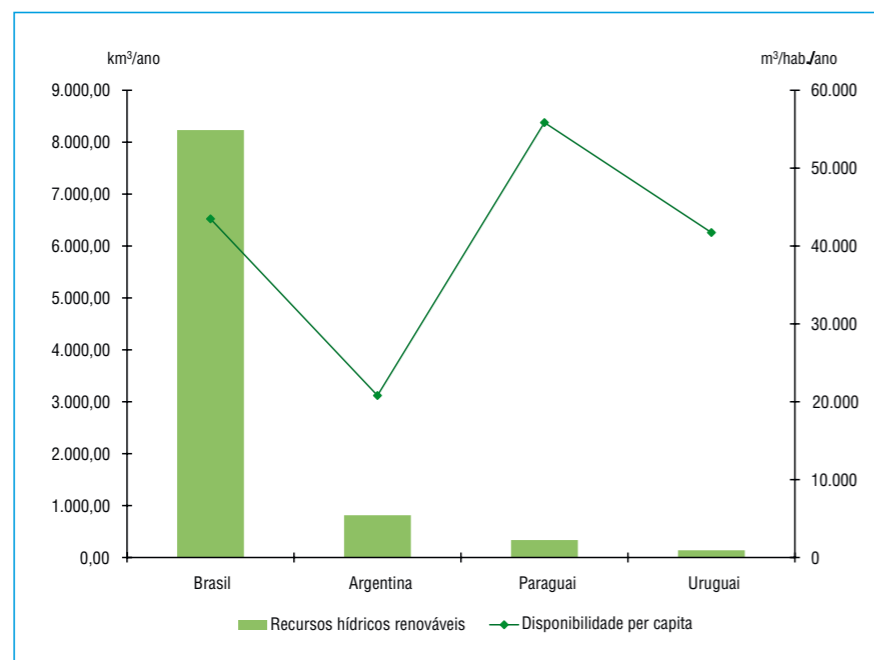


GRÁFICO 1.15 – RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS TOTAIS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NOS PAÍSES ABRANGIDOS PELO AQUÍFERO GUARANI – 2006

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

4.2.1 Disponibilidade de água na Argentina

As precipitações do país variam desde 50 mm em extensas zonas do centro-oeste (San Juan e La Rioja) a 2.000 mm na selva missioneira e bosques subantárticos, sendo que a média anual é de 591 mm, determinando um volume anual de 1.642,1 km³ (FAO, 2009). Desse volume total, cerca de 83,2% se perde na evapotranspiração e evaporação direta das massas de água, determinando recursos hídricos internos renováveis anuais da ordem de 276 km³. O escoamento superficial total está estimado em 814 km³/ano, dos quais 538 km³/ano provêm da contribuição dos países limítrofes, especialmente da bacia do Rio Paraná-Paraguai e do Rio Uruguai (tabela 1.12) (FAO, 2000).

A disposição orográfica do país determina a formação de três vertentes hidrográficas: Atlântico, Pacífico e bacias endorreicas. Essas grandes vertentes, por sua vez, subdividem-se em sistemas e bacias hidrográficas, respectivamente. O volume de água que sai da Argentina, por meio dos principais rios que drenam ao Oceano Pacífico, está estimado em 38 km³/ano, considerando apenas as saídas pelo Chile (FAO, 2000).

4.2.2 Disponibilidade de água no Paraguai

A precipitação com variações interanuais importantes está bem distribuída e sua média anual é de 1.130 mm (FAO, 2009), ainda que na zona das regiões planas do Paraná chegue até 1.900 mm. Em contraste com a região do Paraná, o Chaco tem um clima tropical úmido e tropical seco, no limite com o clima semiárido. Essa área alterna períodos de inundações com períodos muito secos. A precipitação se concentra nos meses de verão (outubro a março) e extensas áreas, que são desertos no inverno, convertem-se em zonas encharcadas nos meses de verão. A temperatura média é de 24°C e a precipitação média anual é de 400 mm nas proximidades da fronteira da Argentina e Bolívia, variando de 500 a 1.000 mm no resto da região e apresentando déficit hídrico ao longo de todo o ano.

A precipitação média anual de 1.130 mm no Paraguai determina 459,6 km³/ano de recursos hídricos renováveis em todo o território paraguaio (FAO, 2009). Desse aporte, convertem-se em recursos hídricos internos renováveis anuais cerca de 94 km³/ano, sendo perdida pela evapotranspiração e evaporação cerca de 80% da precipitação. Desses recursos, 44% recarregam os aquíferos, enquanto que os 56% restantes se convertem em escoamento superficial, que com a contribuição dos países limítrofes atinge 336,0 km³/ano, conforme a tabela 1.12 (FAO, 2000).

Pode-se distinguir duas grandes bacias no Paraguai que se integram à bacia principal do Rio do Prata: a bacia do Rio Paraguai, na qual se inclui o Rio Pilcomayo que desemboca no primeiro nas proximidades de Assunção. A totalidade do Chaco com dois terços da região oriental pertence a essa bacia, somando 87% do território nacional. O rio Pilcomayo é o limite natural entre Paraguai e Argentina, ao longo de seus 835 km de extensão. O resto da superfície

do país pertence à Bacia do Paraná. Estes dois rios, Paraná e Paraguai, unem-se na parte sul do país (FAO, 2000).

4.2.3 Disponibilidade de água no Uruguai

A precipitação média anual é de 1.265 mm (1.000 mm no sul do país e 1.300 mm no norte), o que determina um aporte de 222,86 km³/ano em todo o seu território (FAO, 2009). Os recursos hídricos internos renováveis estão estimados em 59,0 km³/ano, e cerca de 72% da precipitação se perde em evapotranspiração e evaporação direta das massas de água. O caudal procedente de outros países, especialmente pelo rio Uruguai proveniente de Brasil e Argentina, está estimado em 65 km³/ano, sendo que o escoamento superficial total é de aproximadamente 139 km³/ano (tabela 1.12).

As principais bacias hidrográficas são as dos rios Negro, Uruguai, Santa Lúcia, do Prata, e do Oceano Atlântico e Lagoa Mirim, todas elas pertencentes à bacia principal do rio do Prata, exceto as duas últimas, que vertem suas águas diretamente ao Oceano Atlântico. A maior parte das bacias apresenta solos com baixas taxas de infiltração, que combinadas com alta intensidade de precipitação conduzem a escoamentos superficiais elevados e, como consequência, a largas flutuações dos níveis e caudal fluviais. Ainda que a precipitação média anual supere os 1.000 mm na maior parte do Uruguai, os períodos secos acentuados pela irregularidade da chuva mensal são muito comuns, especialmente de novembro a fevereiro. Esse déficit se incrementa de norte a sul (FAO, 2000).

4.2.4 Disponibilidade de água no Brasil

O Brasil é o país mais rico em água do mundo, possuindo a rede hidrográfica mais extensa do planeta, com 55.457 km² de rios, equivalentes a 1,66% da superfície da Terra (PLANETA, 2003) com uma vazão média anual em território brasileiro da ordem de 160.000 m³/s (MMA, 2003).

Um conjunto de fatores físicos e biológicos possibilita a grande riqueza hídrica nacional. As precipitações são abundantes e 90% de seus valores situam-se entre 1.000 e 3.000 mm/ano. A precipitação média no território brasileiro é da ordem de 1.783 mm/ano (FAO, 2009). Essas chuvas, associadas à considerável geodiversidade do território nacional, são fatores determinantes da existência do imenso volume hídrico utilizável (FUNDAJ, 2003).

O potencial hídrico superficial brasileiro representa 12,4% de toda a água doce do planeta e 43,7% do total da América do Sul, com aproximadamente 5.418,0 km³/ano, quando considerada apenas a contribuição do território brasileiro, e de 8.233,0 km³/ano, considerando-se toda a vazão da Bacia Amazônica (território nacional e estrangeiro), e uma disponibilidade hídrica social de 28.618 m³/hab./ano (sobre a vazão somente do território brasileiro) ou 43.487 m³/hab./ano (sobre a vazão total), em 2006 (FAO, 2009).

A distribuição das águas superficiais varia muito de acordo com as diferentes regiões do país. Aproximadamente, 69,2% da água disponível para o uso no Brasil está concentrada na Região Norte, onde se situa a Amazônia, o lugar mais rico em água potável superficial de todo o planeta e, também, onde ocorre a menor densidade demográfica do país (3,79 hab./km²), com apenas 8% da população brasileira vivendo sobre seu território (tabela 1.13 e gráfico 1.16).

A Região Centro-Oeste, com 15,3% do total de recursos hídricos brasileiros, é a segunda mais rica em potencial hídrico e é onde se situa o Pantanal Mato-Grossense. Os estados do Mato Grosso e Goiás fazem parte das bacias Amazônica e do Tocantins, respectivamente, que pertencem à Região Norte. Essas duas regiões detêm juntas 84,5% das reservas de águas brasileiras. Em terceiro, aparece a Região Sul, com 6,4% do total, seguida pela Região Sudeste, com 5,8% e pelo Nordeste, com 3,3%, que é a região mais pobre em recursos hídricos do Brasil.

TABELA 1.13 - DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

REGIÃO	ÁREA (%)	POPULAÇÃO (2007) (%)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (hab./km ²)	RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS (%)	RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS (km ³ /ano)	RECURSOS HÍDRICOS TOTAIS (km ³ /ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR ÁREA (m ³ /km ² /ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL (m ³ /hab./ano)
Norte	45,3	8,0	3,79	69,2	3.968,30	6.476,93	1.030	271.368
Nordeste	18,3	28,0	33,16	3,3	186,20	186,25	120	3.613
Sudeste	10,9	42,3	84,23	5,8	334,20	332,99	361	4.292
Sul	6,8	14,5	46,38	6,4	365,40	376,82	634	13.668
Centro-Oeste	18,9	7,2	8,23	15,3	878,70	755,10	547	66.453
Total	100,0	100,0	21,61	100,0	5.732,80	8.128,09	673	31.159

FONTES: DNAEE (1985); Maia Neto (1997); IBGE (2009)

NOTAS: Disponibilidade hídrica por área e social calculada a partir dos recursos hídricos internos.

Disponibilidade hídrica social calculada com base em Contagem da População de 2007 (IBGE, 2009).

Recursos hídricos internos: considera-se apenas a contribuição do território brasileiro - dados de DNAEE (1985).

Recursos hídricos totais: considera-se toda a vazão da Bacia Amazônica, ou seja, a contribuição do território nacional e estrangeiro - dados de Maia Neto (1997).

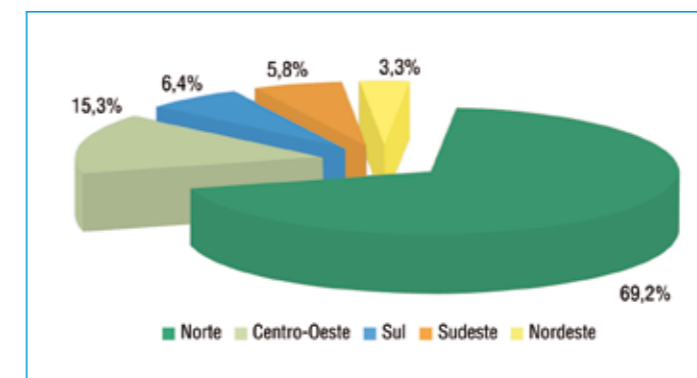


GRÁFICO 1.16 - DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS INTERNOS NO BRASIL - 1985

FONTES: Elaborado a partir de DNAEE (1985)

Em relação à disponibilidade hídrica social (tabela 1.13), as regiões obedecem à mesma ordem verificada para o potencial hídrico, apresentando os volumes mais generosos nas regiões de menor densidade demográfica, ou seja, o Norte e o Centro-Oeste, mas que também são as mais ricas em água do país.

A Região Norte apresentou, em 2007, uma disponibilidade hídrica social equivalente a 271.368 m³/hab./ano (tabela 1.14), detendo o maior valor tanto para o Brasil (média de 31.159 m³/hab./ano) e comparável ao de alguns países com as maiores disponibilidades hídricas sociais do mundo, como a Guiana e o Suriname (326.116 e 268.132 m³/hab./ano, respectivamente) com os quais a Região Norte faz divisa territorial.

A Região Centro-Oeste foi a segunda mais rica em disponibilidade hídrica social, com 66.453 m³/hab./ano, em 2007, também alta quando comparada à média nacional, e com o menor número populacional do Brasil (7,2%). A Região Sul apareceu a seguir, com 13.668 m³/hab./ano; o Sudeste, com 4.292 m³/hab./ano e finalmente o Nordeste, com 3.613 m³/hab./ano, conferindo a essa o *status* de região mais pobre em água do país, com apenas os estados do Maranhão e Piauí apresentando uma situação hídrica confortável (tabela 1.14).

Considerando-se a contribuição de toda a Bacia Amazônica, ou seja, a vazão do território nacional e estrangeiro, a disponibilidade hídrica social na Região Norte, em 2007, foi de 442.918 m³/hab./ano e no Brasil, de 44.177 m³/hab./ano.

A distribuição dos recursos hídricos nos estados brasileiros é também muito variável, mesmo entre aqueles que pertencem a uma mesma região (tabela 1.14). Os estados do Amazonas, com 1.848,30 km³/ano e o Pará, com 1.124,70 km³/ano, possuem os maiores potenciais hídricos do país, com 32,2 e 19,6% do total, respectivamente, ou seja, cerca de 52% de toda a água doce superficial brasileira, ou 64% quando se considera contribuição de toda a Bacia Amazônica (vazão do território nacional e estrangeiro). Curiosamente, os estados do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e Rio Grande do Sul juntam-se aos demais estados da Região Norte quanto aos maiores potenciais hídricos do país. Obviamente, a maioria dos estados da Região Nordeste apresenta os menores valores para os recursos hídricos, sendo que o Distrito Federal aparece com eles.

Nota-se, também, que em todas as regiões brasileiras, um ou dois estados concentram, sozinhos, cerca de mais da metade do potencial hídrico da região a qual pertencem, como Amazonas e Pará, com 75% na Região Norte; Mato Grosso, com 59,4% na Região Centro-Oeste; Rio Grande do Sul, com 52% no Sul; Minas Gerais e São Paulo, com 86% no Sudeste e Maranhão e Bahia, com 65% no Nordeste.

TABELA 1.14 - DISTRIBUIÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NO BRASIL, CONSIDERANDO-SE APENAS A PRODUÇÃO HÍDRICA EM TERRITÓRIO NACIONAL

ESTADO	ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO (Ano 2007)	RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS (km ³ /ano)	PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO TOTAL HÍDRICO (%)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL (m ³ /hab./ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR ÁREA (m ³ /km ² /ano)
Roraima	224.298,98	395.725	372,30	6,49	940.805	1.660
Amazonas	1.570.745,68	3.221.939	1.848,30	32,24	573.661	1.177
Amapá	142.814,59	587.311	196,00	3,42	333.724	1.372
Acre	152.581,39	655.385	154,00	2,69	234.976	1.009
Mato Grosso	903.357,91	2.854.642	522,30	9,11	182.965	578
Pará	1.247.689,52	7.065.573	1.124,70	19,62	159.180	901
Rondônia	237.576,17	1.453.756	150,20	2,62	103.319	632
Tocantins	277.620,91	1.243.627	122,80	2,14	98.743	442
Goiás	340.086,70	5.647.035	283,90	4,95	50.274	835
Mato Grosso do Sul	357.124,96	2.265.274	69,70	1,22	30.769	195
Rio Grande do Sul	281.748,54	10.582.840	190,00	3,31	17.954	674
Maranhão	331.983,29	6.118.995	84,70	1,48	13.842	255
Paraná	199.314,85	10.284.503	113,40	1,98	11.026	569
Santa Catarina	95.346,18	5.866.252	62,00	1,08	10.569	650
Minas Gerais	586.528,29	19.273.506	193,90	3,38	10.060	331
Piauí	251.529,19	3.032.421	24,80	0,43	8.178	99
Espírito Santo	46.077,52	3.351.669	18,80	0,33	5.609	408
Bahia	564.692,67	14.080.654	35,90	0,63	2.550	64
São Paulo	248.209,43	39.827.570	91,90	1,60	2.307	370
Rio de Janeiro	43.696,05	15.420.375	29,60	0,52	1.920	677
Ceará	148.825,60	8.185.286	15,50	0,27	1.894	104
Alagoas	27.767,66	3.037.103	4,40	0,08	1.449	158
Rio Grande do Norte	52.796,79	3.013.740	4,30	0,08	1.427	81
Sergipe	21.910,35	1.939.426	2,60	0,05	1.341	119
Paraíba	56.439,84	3.641.395	4,60	0,08	1.263	82
Distrito Federal	5.801,94	2.455.903	2,80	0,05	1.140	483
Pernambuco	98.311,62	8.485.386	9,40	0,16	1.108	96
Brasil	8.514.876,60	183.987.291	5.732,80	100,00	31.159	673

FONTE: DNAEE (1985); IBGE (2009)

NOTA: Disponibilidade hídrica social calculada com base em Contagem da População de 2007 (IBGE, 2009).

Roraima, Amazonas e Amapá apresentaram as maiores disponibilidades hídricas sociais do Brasil, em 2007. Para se ter uma ideia da grandeza desses volumes, pode-se compará-los com os valores observados para a Groenlândia, Guiana Francesa, Islândia, Guiana e o Suriname (tabela 1.15), que são os países mais ricos em disponibilidade hídrica social do mundo. A magnitude do potencial do Estado do Amazonas pode ser verificada principalmente quando se observa que esses países estão entre os menos populosos do mundo e a população do Amazonas foi de 3.221.939 de habitantes (IBGE, 2009), muito maior que a dos países em questão.

TABELA 1.15 - PAÍSES E ESTADOS BRASILEIROS COM AS MAIORES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SOCIAIS NO PLANETA

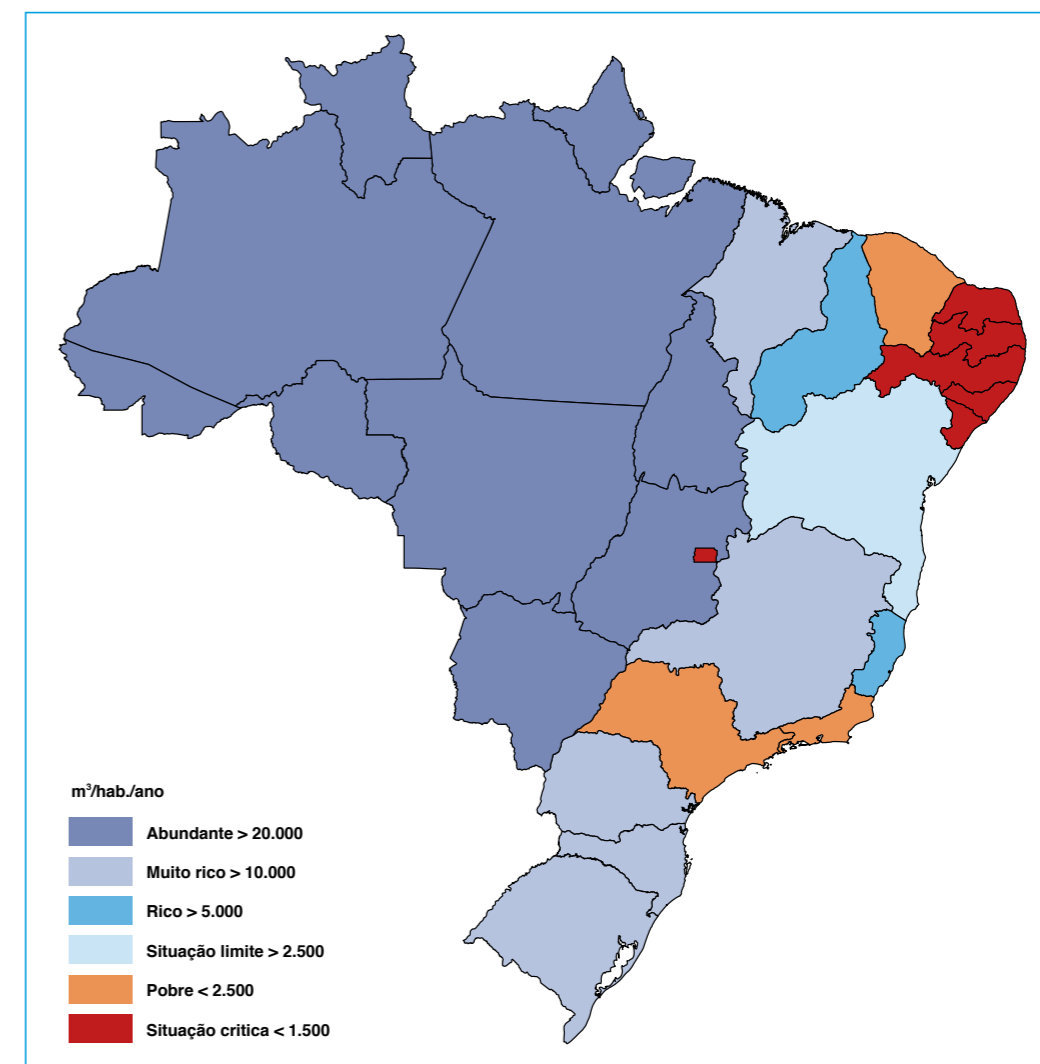
PAÍSES/ESTADOS BRASILEIROS	ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO	POTENCIAL HÍDRICO (km ³ /ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL (m ³ /hab./ano)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR ÁREA (m ³ /km ² /ano)
Groenlândia	2.166.086	57.800	603,00	10.432.526	278
EUA (Alasca)	1.717.854	686.293	980,00	1.427.962	571
Roraima	224.298,98	395.725	372,30	940.805	1.660
Guiana Francesa	90.000	197.000	134,00	680.203	1.489
Amazonas	1.570.746	3.221.939	1.848,30	573.661	1.177
Islândia	103.000	298.000	170,00	570.470	1.651
Amapá	142.8145	587.311	196,00	333.724	1.372
Guiana	214.970	739.000	241,00	326.116	1.121
Suriname	163.270	455.000	122,00	268.132	747
Acre	152.581	655.385	154,00	234.976	1.009
Congo	342.000	3.689.000	832,00	225.535	2.433
Mato Grosso	903.358	2.854.642	522,30	182.965	578
Pará	1.247.689	7.065.573	1.124,70	159.180	901
Butão	47.000	649.000	95,00	146.379	2.021
Papua-Nova Guiné	462.840	6.202.000	801,00	129.152	1.731
Gabão	267.670	1.311.000	164,00	125.095	613
Rondônia	237.576	1.453.756	150,20	103.319	632
Tocantins	277.621	1.243.627	122,80	98.743	442
Ilhas Salomão	28.900	484.000	44,70	92.355	1.547
Canadá	9.970.610	32.577.000	2.902,00	89.081	291
Noruega	323.800	4.669.000	382,00	81.816	1.180
Nova Zelândia	270.530	4.140.000	327,00	78.986	1.209

FONTE: Elaborado a partir de DNAEE (1985); FAO (2009) e IBGE (2009)

NOTA: Ano de referência da população do Butão - 2004; demais países - 2006; Alasca - 2008; estados brasileiros - 2007.

Os estados de Alagoas, Rio Grande do Norte, Sergipe, Paraíba, Distrito Federal e Pernambuco igualam-se no grau de disponibilidade social crítica (< 1.500 m³/hab./ano).

O cenário brasileiro, no ano de 2007, segundo a classificação dos graus de disponibilidade hídrica social, mostra que o país possui em geral uma grande riqueza hídrica, e que apenas cinco estados (Sergipe, Rio Grande do Norte, Alagoas, Paraíba e Pernambuco) e o Distrito Federal apresentam-se como os mais pobres do país tanto nos recursos hídricos como na disponibilidade dos mesmos para a população (mapa 1.3).



MAPA 1.3 – DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL NO BRASIL

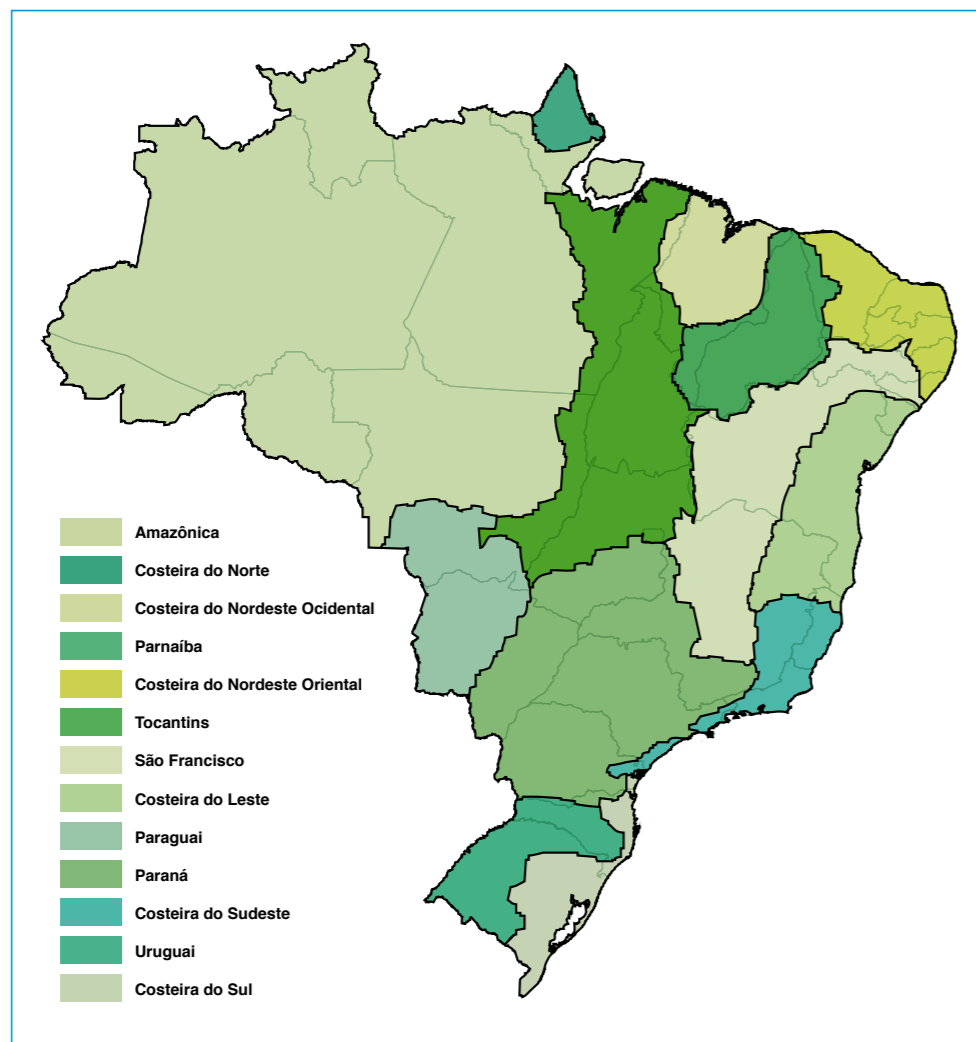
FONTE: Elaborado a partir de DNAEE (1985) e IBGE (2009)

NOTA: Disponibilidade hídrica social calculado sobre a população do ano de 2007

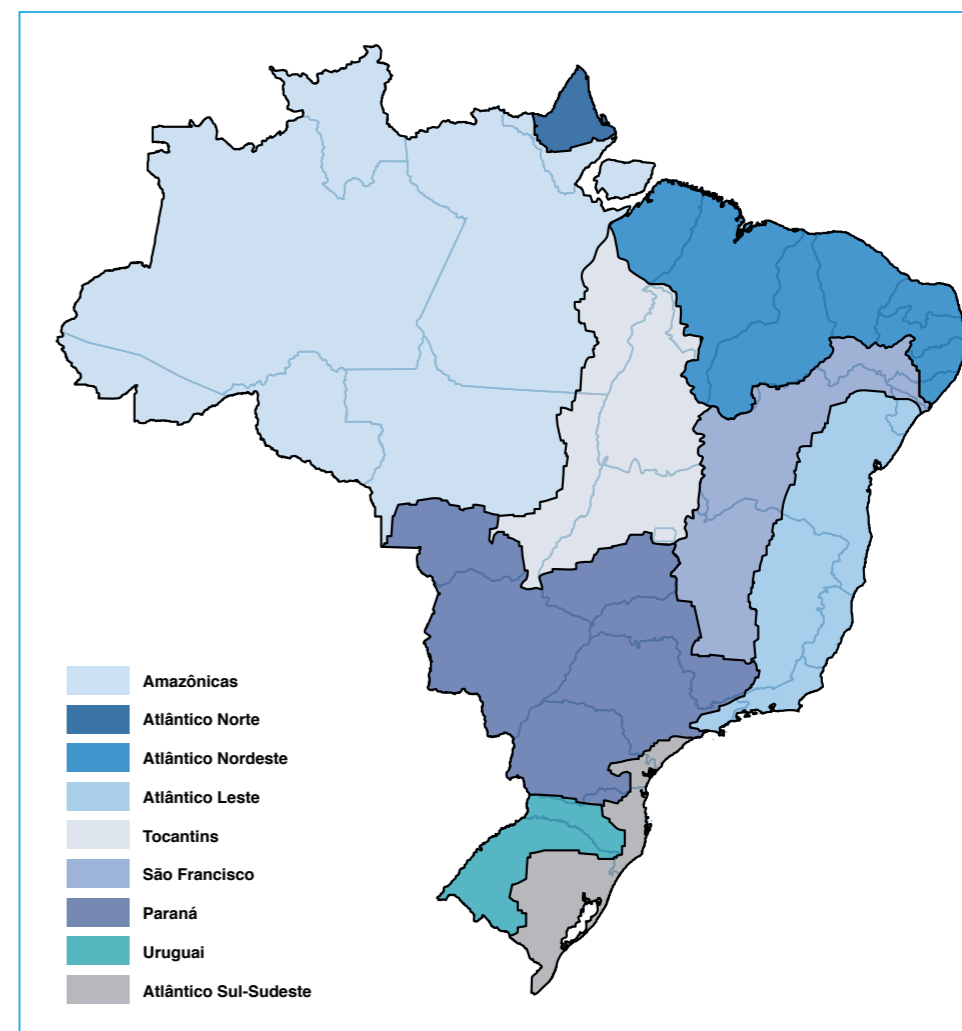
O Brasil, porém, convive com contrastes marcantes no que se refere ao potencial hídrico, com a abundância na Bacia Amazônica e a escassez no Nordeste semiárido. A Região Norte, com a maior reserva de água potável do país, é a que detém os piores índices de ineficiência e precariedade no abastecimento de água à população e saneamento.

O clima semiárido da Região Nordeste e norte de Minas Gerais impõe a escassez dos recursos hídricos de superfície, que tem influenciado diretamente no desenvolvimento econômico e social da região. Esse clima caracteriza-se pelas baixas precipitações pluviométricas (média de 400 mm anuais) concentradas em uma única e geralmente curta estação úmida, que são responsáveis pelas secas periódicas e pelas temperaturas constantemente altas (28°C), que mantêm as taxas de evaporação muito elevadas (90%) (LEAL, 1999). As chuvas esparsas, as secas periódicas e a predominância de rochas metamórficas com baixa capacidade de armazenamento de águas subterrâneas e manutenção da vazão de base, durante a estiagem, ocasionam uma grande quantidade de rios temporários ou intermitentes.

Convém esclarecer que os autores basearam-se na divisão geopolítica para a análise da situação hídrica brasileira. Já a Secretaria Nacional de Recursos Hídricos tem adotado uma base físico-territorial cuja divisão é por regiões hidrográficas (mapa 1.4) e se difere também da divisão por bacias hidrográficas (mapa 1.5), visando atender os objetivos específicos de gerenciamento dos recursos hídricos.



MAPA 1.4 – REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO BRASIL
 FONTE: Adaptado de MMA (2003)



MAPA 1.5 – BACIAS HIDROGRÁFICAS DO BRASIL
 FONTE: Adaptado de SRH/MMA (1998)

5 Usos de água no mundo

O consumo global de água dobra a cada 20 anos, mais de duas vezes a taxa de crescimento da população, enquanto que a poluição e a sobre-exploração em muitas regiões do mundo têm reduzido a disponibilidade de água (FARMWEB, 2003).

O consumo de água varia muito de região para região e depende da disponibilidade de acesso e aspectos culturais, entre outros, revelando muito, também, sobre as desigualdades sociais. Por exemplo, na Escócia, o consumo é de aproximadamente 410 litros/hab./dia (JACOBI, 2003), nos Estados Unidos, 250 litros/hab./dia, sendo que em Nova Iorque pode chegar a 2.000 litros/hab./dia e nos países da África, apenas 15 litros/hab./dia (BIO, 1999 citado em ÁGUAS & ÁGUAS, 2003). Na Europa, calcula-se que uma pessoa consuma em média 150 litros diários e na Índia, apenas 25 litros (CEPIS, 2000). A maioria das 1,1 bilhão de pessoas sem acesso à água potável utiliza cerca de 5 litros por dia (PNUD, 2006).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda a média de 80 litros de água por dia para sustentar razoavelmente a qualidade de vida de uma pessoa (ÁGUAS & ÁGUAS, 2003), porém, as normas internacionais definidas por este organismo e pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) sugerem um requisito mínimo de 20 litros por dia, proveniente de uma fonte situada até um quilômetro do lar (quantidade considerada suficiente para beber e garantir a higiene pessoal da família). Essa quantidade é considerada suficiente para beber e garantir a higiene pessoal da família, e se atendermos a atividades tais como tomar banho ou lavar a roupa, as necessidades aumentariam o requisito mínimo por pessoa para cerca de 50 litros diários (PNUD, 2006).

Já de acordo com o estudo de Falkenmark e Widstrand (1992), citados por Lanna (2001), 100 litros por dia seria o mínimo necessário para uma pessoa atender às necessidades domésticas e de saúde, o que atingiria 36,5 m³/hab./ano. Com o uso na agricultura, indústria e geração de energia, as necessidades podem crescer de 5 a 20 vezes em países de desenvolvimento moderado ou que usam água de forma eficiente. Para Rodrigues (2000), o mínimo necessário de água para uma vida razoável seria 1.500 m³/hab./ano (4.110 litros/hab./dia).

No ano de 2000, os países que destinaram mais água por habitante no setor doméstico foram o Canadá (287 m³/hab./ano), Nova Zelândia (258 m³/hab./ano) e Estados Unidos (209 m³/hab./ano), e os países que menos consumiram foram, principalmente, os do continente africano, com menos de 10 m³/hab./ano (FAO, 2002a).

No mesmo ano, o consumo total de água no mundo foi de 3.817,27 km³/ano (8,7% do total dos recursos hídricos renováveis internos) e o consumo de água *per capita* foi de 628 m³/hab./ano, segundo o World Resources Institute (WRI, 2009). O maior consumo total foi verificado na Ásia - cerca de 2.377,46 km³/ano, e as menores taxas ocorreram na Oceania e América Central. No Norte da África, o consumo foi de 93,88 km³/ano (tabela 1.16 e gráfico 1.17).

TABELA 1.16 - CONSUMO ANUAL TOTAL E *PER CAPITA* DE ÁGUA NOS CONTINENTES - 2000

CONTINENTES E REGIÕES	POPULAÇÃO ANO 2000 (milhões de hab.)	CONSUMO DE ÁGUA	
		TOTAL (km ³ /ano)	<i>PER CAPITA</i> (m ³ /hab./ano)
África	819.915	213,66	261
Norte da África ⁽¹⁾	140.772	93,88	667
África Subsaariana	679.143	119,79	176
América Central e Caribe ⁽²⁾	68.748	22,52	328
América do Norte	415.281	603,48	1.453
América do Sul	348.677	164,62	472
Ásia	3.693.765	2.377,46	644
Oriente Médio	260.157	229,64	883
Ásia (excluindo o Oriente Médio)	3.433.608	2.147,82	626
Europa	699.571	409,35	585
Oceania	29.176	26,18	897
Mundo	6.075.133	3.817,27	628

FONTE: WRI (2009)

NOTAS: (1) Quando se considera o Norte da África sem o Egito, o consumo *per capita* dessa região cai para 345 m³/ano.

(2) Alguns autores costumam incluir o México na América Central e nesse caso este continente surge com um consumo total de 100,74 km³/ano.

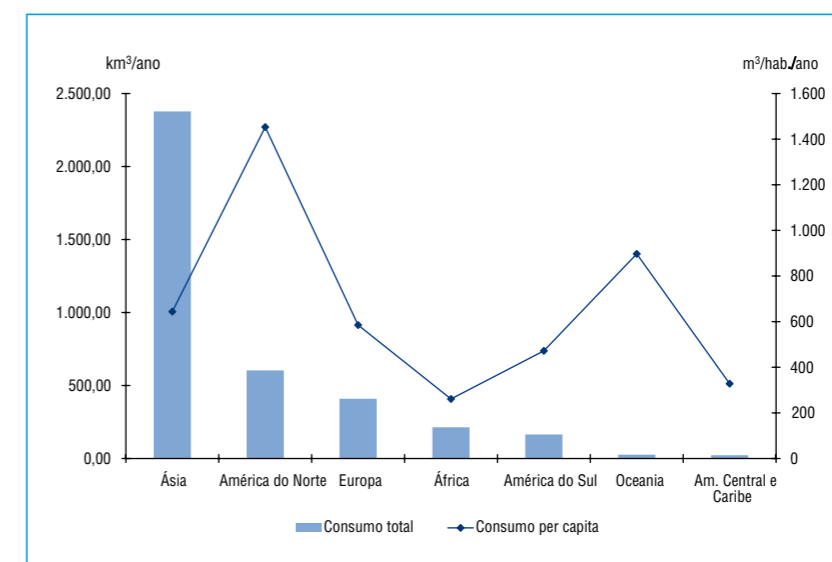


GRÁFICO 1.17 - CONSUMO ANUAL TOTAL E *PER CAPITA* NOS CONTINENTES - 2000

FONTE: Elaborado a partir de WRI (2009)

A América do Norte apresentou o maior consumo *per capita* (1.453 m³/hab./ano), seguindo-se a Oceania, com um consumo *per capita* de 897 m³/hab./ano, alavancado pelo alto consumo na Austrália (1.250 m³/hab./ano) – quando comparado com o consumo dos outros países do seu continente, e o Oriente Médio, com 883 m³/hab./ano. O menor consumo *per capita* foi verificado na África Subsaariana (176 m³/hab./ano). A América do Sul apresentou valores de 164,62 km³/ano para o consumo total e 472 m³ de consumo *per capita* anual.

Os maiores índices de consumo total de água no mundo, em 2000, verificaram-se nos países da Ásia, como Índia (645,8 km³/ano ou 645 trilhões de litros/ano), China e Paquistão, Estados Unidos, México e Rússia (tabela 1.17) (WRI, 2009). Já as maiores taxas de consumo *per capita* verificaram-se nos países da Ásia Central, Iraque, Guiana, Suriname, Estados Unidos e Canadá; e as menores taxas verificaram-se em países africanos, com menos de 100 m³/hab./ano (WRI, 2009).

Os países que tiveram os maiores percentuais do total dos recursos hídricos renováveis internos estão localizados no Oriente Médio, tais como, Bahrain, Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Líbia e Qatar, com taxas superiores a 300%. Na África, Oceania e América Latina, estão os países que gastaram os menores percentuais do total dos recursos hídricos renováveis internos, com taxas inferiores a 5% (WRI, 2009).

TABELA 1.17 – PAÍSES COM OS MAIORES ÍNDICES DE CONSUMO DE ÁGUA TOTAL E *PER CAPITA* – 2000

MAIOR ÍNDICE DE CONSUMO TOTAL DE ÁGUA				MAIOR ÍNDICE DE CONSUMO DE ÁGUA <i>PER CAPITA</i>			
PAÍS	CONSUMO TOTAL	CONSUMO <i>PER CAPITA</i>	CONSUMO DO TOTAL DOS REC. HÍDR. INTERNOS	PAÍS	CONSUMO TOTAL	CONSUMO <i>PER CAPITA</i>	CONSUMO DO TOTAL DOS REC. HÍDR. INTERNOS
	km ³ /ano	m ³ /hab./ano	%		km ³ /ano	m ³ /hab./ano	%
Índia	645,84	617	51,24	Turquemenistão	24,65	5.475	1.812,50
China	630,29	496	21,89	Uzbequistão	58,34	2.360	357,04
Estados Unidos	479,29	1.683	23,97	Casaquistão	35	2.341	46,41
Paquistão	169,39	1.173	323,26	Guiana	1,64	2.234	0,68
Japão	88,43	696	20,57	Azerbaijão	17,25	2.118	212,57
Tailândia	87,06	1.435	41,46	Quirguistão	10,08	2.038	21,70
Indonésia	82,78	391	2,92	Tadjiquistão	11,96	1.937	18,04
Bangladesh	79,40	569	75,62	Iraque	42,7	1.704	121,31
México	78,22	784	19,13	Estados Unidos	479,29	1.683	23,97
Rússia	76,68	520	1,78	Suriname	0,67	1.537	0,76
Irã	72,88	1.102	56,72	Canadá	45,97	1.498	1,61
Vietnã	71,39	903	19,48	Tailândia	87,06	1.435	41,46
Egito	68,30	1.027	3.794,44	Equador	16,98	1.380	3,93
Brasil	59,30	340	1,09	Bulgária	10,5	1.312	50,00
Uzbequistão	58,34	2.360	357,04	Austrália	23,93	1.250	4,86

FONTE: WRI (2009)

5.1 Uso de água por setores no mundo

A maneira como o homem utiliza a água varia consideravelmente de país para país. Os dados sobre o uso da água nos setores doméstico, agrícola e industrial são esparsos e incompletos. Pode-se, porém, ter uma ideia dessa variabilidade, observando-se que, na Guiana, por exemplo, 2% do uso de água é para fins domésticos e 98% para fins agrícolas e industriais (97 e 1%, respectivamente); ao passo que, na Guiné Equatorial, a proporção praticamente se inverte: 83% do gasto hídrico vai para fins domésticos e apenas 17% para fins agrícolas e industriais (1 e 16%, respectivamente). Ambos os países estão em regiões com disponibilidade hídrica social maior que 100.000 m³/hab./ano (SBPC, 2000).

De acordo com os dados da FAO (2009), no ano 2003, do consumo mundial de água (3.826,71 km³), 69,9% (2.674,56 km³) foi destinado ao setor agrícola, 19,9% (763,61 km³) ao setor industrial e apenas 10,1% (388,54 km³) ao setor doméstico (consumo humano, uso sanitário, serviços urbanos municipais) (gráfico 1.18).

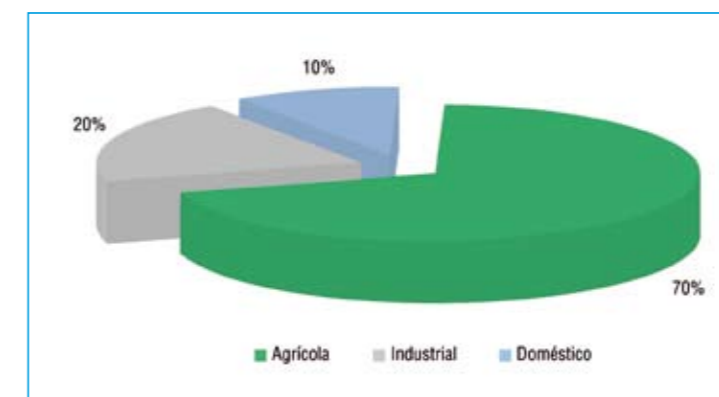


GRÁFICO 1.18 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA NO PLANETA - 2003
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A irrigação consome a maior quantidade de água em nível mundial – respondendo, em 2006, por mais de 80% da utilização nos países em desenvolvimento. Até 2050, a água do mundo terá de sustentar os sistemas agrícolas que alimentarão e constituirão o meio de subsistência de mais 2,7 bilhões de pessoas. Entretanto, o setor industrial, e não a agricultura, será responsável pelo maior aumento previsto na utilização de água até 2025 (PNUD, 2006). Em 2007, a área “equipada” para irrigação no mundo era de 286,79 milhões de hectares, sendo 70% localizados na Ásia, o equivalente a 35% de terras cultivadas neste continente, tabela 1.18 (FAO, 2006). A Índia é o país com a maior área irrigada do mundo - 57 milhões de hectares, a China tem 54 milhões de hectares e os Estados Unidos tem 25 milhões de hectares (FAO, 2000).

TABELA 1.18 – ÁREA EQUIPADA PARA IRRIGAÇÃO E A PORCENTAGEM SOBRE A TERRA CULTIVADA NOS CONTINENTES - 2007

REGIÃO	ÁREA EQUIPADA	PORCENTAGEM DO TOTAL MUNDIAL	PORCENTAGEM SOBRE A TERRA CULTIVADA
	milhões de hectares	%	%
Ásia	201,32	70,2	35,12
Europa	26,34	9,2	8,98
América do Norte	23,76	8,3	10,55
América Latina	17,32	6,0	10,76
África	13,60	4,7	5,52
Oceania	3,12	1,1	6,64
Caribe	1,33	0,5	18,74
Mundo	286,79	100,0	18,45

FONTE: FAO (2009)

A área irrigada no Brasil era de 3,9 milhões de hectares em 2007 (CSEI, 2009), o equivalente a 6% da área plantada no país e 1,4% da área total irrigada no mundo, sendo que possui uma área potencial para irrigação de 30 milhões de hectares (CHRISTOFIDIS, 2002 citado por ANA, 2009). O Brasil produz, em condições normais, 130 milhões de toneladas de grãos em mais de 60 milhões de hectares plantados. Nos últimos 25 anos, a produtividade dobrou, chegando em alguns anos a 2,5 t/ha, fato que se deve, em parte, ao aumento da utilização da irrigação. A área irrigada responde por mais de 16% do volume total de produção e 35% do valor econômico total da produção, enquanto no mundo estes números ficam em 44% e 54%, respectivamente (DOMINGUES, 2008). O agronegócio é responsável por 33% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros (MELLO, 2009).

A Ásia é o continente que mais consome água no mundo. Em 2003, o volume de água consumido nesse continente foi de 2.425,92 km³/ano, que corresponde a 63,4% do consumo total no mundo (tabela 1.19 e gráfico 1.19). Em seguida, encontram-se a América do Norte (15,6%) e Europa (9,8%); a África e a América do Sul, com 5,6 e 4,3%, respectivamente; e, finalmente, com os menores índices de consumo de água, a Oceania (0,7%) e a América Central e Caribe (0,6%).

TABELA 1.19 - USO DE ÁGUA POR SETORES NOS CONTINENTES – 2003

CONTINENTES	SETOR						TOTAL	
	AGRÍCOLA		INDUSTRIAL		DOMÉSTICO		km ³ /ano	%
	km ³ /ano	%	km ³ /ano	%	km ³ /ano	%		
Ásia	1.972,78	73,76	275,48	36,08	177,66	45,73	2.425,92	63,39
América do Norte	261,97	9,79	249,49	32,67	87,36	22,48	598,82	15,65
Europa	109,04	4,08	204,00	26,72	60,74	15,63	373,78	9,77
África	184,38	6,89	9,01	1,18	21,48	5,53	214,87	5,61
América do Sul	112,52	4,21	20,52	2,69	31,58	8,13	164,62	4,30
Oceania	18,95	0,71	2,64	0,35	4,59	1,18	26,18	0,68
Am. Central/Caribe	14,92	0,56	2,47	0,32	5,13	1,32	22,52	0,59
Total Mundo	2.674,56	100,00	763,61	100,00	388,54	100,00	3.826,71	100,00

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

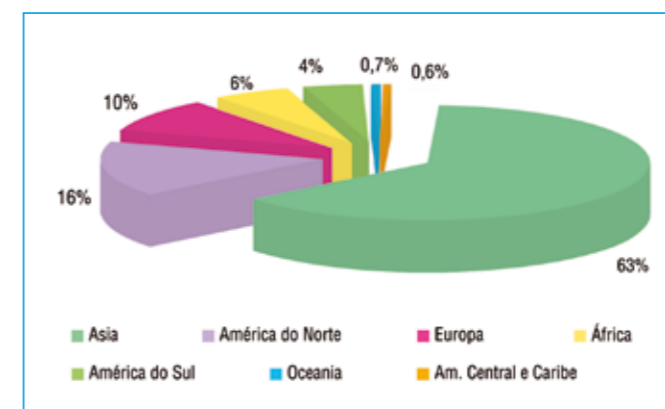


GRÁFICO 1.19 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA NOS CONTINENTES - 2003
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Poder-se-ia supor que o consumo fosse sempre diretamente proporcional ao número de habitantes de cada região, porém, de acordo com a tabela 1.16, observa-se que a África tem uma população maior que a da Europa e da América do Norte, mas apresentou um consumo menor que o desses continentes. O número populacional da América do Norte é menor que o dos continentes europeu e africano, mas o seu consumo foi 1,5 e 3 vezes maior que o desses, respectivamente. A Oceania, com uma população menor que a da América Central e Caribe, consumiu, em 2003, mais água que esta região. De uma maneira geral, essa relação inversamente proporcional entre população e consumo, em alguns continentes, deve-se à disponibilidade de água e à sua distribuição por meio de redes seguras de abastecimento, e à cultura e hábitos de cada região.

Do total da água utilizada no mundo para a agricultura (produção de grãos) e para o uso doméstico, a Ásia é líder no consumo com 74% e 46%, respectivamente (gráficos 1.20 e 1.21).

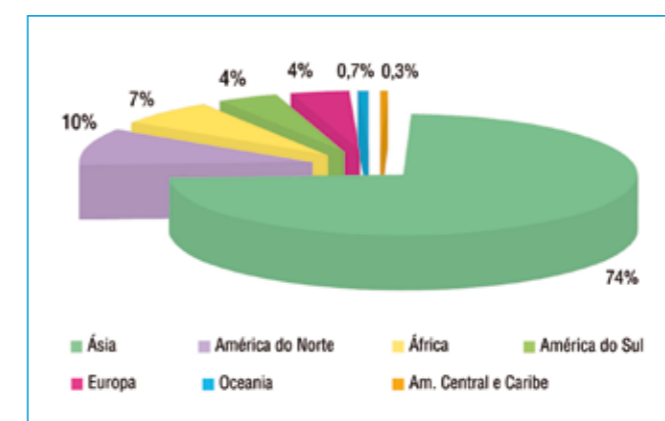


GRÁFICO 1.20 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA NO SETOR AGRÍCOLA NOS CONTINENTES - 2003
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Quanto maior o nível de desenvolvimento do continente, maior é o consumo de água no setor doméstico (gráfico 1.21). Ou seja, o alto nível de urbanização implica mais gasto de água na municipalidade (hospitais, creches, parques, centros esportivos, etc.) e nas residências (banheiras de hidromassagem, piscinas, jardins, calçadas, etc.).

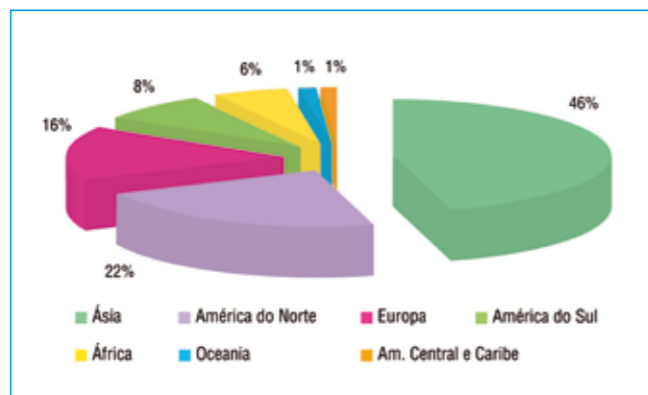


GRÁFICO 1.21 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA NO SETOR DOMÉSTICO NOS CONTINENTES - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

No uso industrial, 95,5% do total de água consumida, em 2003, dividia-se entre Ásia, América do Norte e Europa. Os demais continentes dividiram 4,5% do consumo, demonstrando uma baixa industrialização quando comparados com os outros (gráfico 1.22).

As maiores indústrias consumidoras de água incluem termelétricas, metalúrgicas e siderúrgicas, indústrias de papel e celulose, químicas, petrolíferas e fabricantes de máquinas. A maioria utiliza os maiores volumes de água em refrigeração, lavagem, processamento e aquecimento (ESTADO DO MUNDO, 2004).

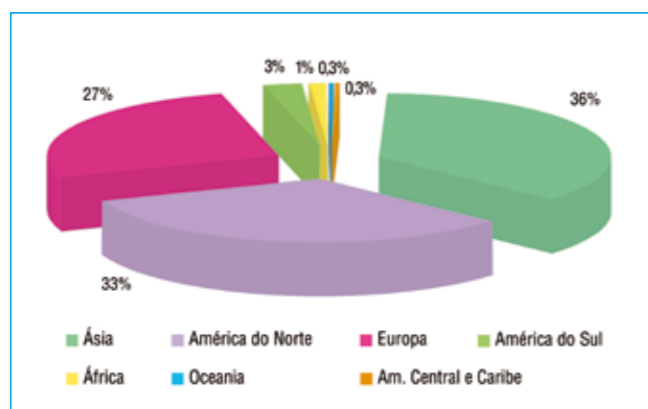


GRÁFICO 1.22 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL NOS CONTINENTES - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Os países que destinaram mais água, do seu total consumido, à agricultura foram a Somália (99,4%) e Mali (99,0%), ambos na África, embora os volumes envolvidos nesses dois

países sejam sensivelmente insignificantes quando comparados com outros países. A seguir, Afeganistão, Camboja, Mianmá, Turquemenistão e Guiana, com 98%; Suazilândia, com 97% e mais 50 países (maioria africanos, asiáticos e latino-americanos e apenas a Grécia, na Europa), com percentuais de 80 a 96%.

Entre os países que consumiram a maior parte de seus recursos hídricos no setor industrial encontram-se: Bélgica (85%), Finlândia (84%), Polônia (79%) e Bulgária (78%) e mais treze países também europeus, com percentuais de 59 a 77%; o Canadá, com 69% e Estados Unidos, com 46%.

O Djibuti (84%), Guiné Equatorial (83%), República Centro-Africana (80%), Malta (79%) e Lituânia (78%) foram os países que gastaram mais água no setor doméstico. A seguir, com percentuais de 45 a 70%, encontram-se países africanos, da América Central, do leste europeu, Singapura, Papua-Nova Guiné e a Nova Zelândia. Fica evidente que os países que mais gastam neste setor classificam-se como países cujas economias não se baseiam nem na agricultura e tampouco na indústria, ou que apresentam escassez de água. Os vinte países que mais consumiram água em nível doméstico estão entre os mais populosos do planeta.

5.2 Uso de água por setores nos continentes

O uso da água no mundo é bastante diferenciado. Dentro de um continente, alguns poucos países consomem bem mais da metade de toda a água utilizada nele, e com grande diversidade de uso por setores. É evidente que isso ocorre em função do número da população e demanda da atividade econômica básica, da cultura e costumes, e também da disponibilidade hídrica da cada região.

O percentual mundial médio do uso da água, de 70, 20 e 10%, respectivamente, para a agricultura, indústria e uso doméstico, não se aplica para a maioria dos continentes e, conseqüentemente, a muitas regiões do mundo, não refletindo o uso real da água nesses continentes (tabela 1.20).

TABELA 1.20 - USO DE ÁGUA POR SETORES EM CADA CONTINENTE - 2003

CONTINENTES	SETOR						TOTAL km³/ano
	AGRÍCOLA		INDUSTRIAL		DOMÉSTICO		
	km³/ano	% ⁽¹⁾	km³/ano	% ⁽¹⁾	km³/ano	% ⁽¹⁾	
Ásia	1.972,78	81,32	275,48	11,36	177,66	7,32	2.425,92
América do Norte	261,97	43,75	249,49	41,66	87,36	14,59	598,82
Europa	109,04	29,17	204,00	54,58	60,74	16,25	373,78
África	184,38	85,81	9,01	4,19	21,48	10,00	214,87
América do Sul	112,52	68,35	20,52	12,47	31,58	19,18	164,62
Oceania	18,95	72,38	2,64	10,08	4,59	17,53	26,18
Am. Central/Caribe	14,92	66,25	2,47	10,97	5,13	22,78	22,52
Mundo	2.674,56	69,89	763,61	19,95	388,54	10,15	3.826,71

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

NOTA: (1) Porcentagem em relação ao total do continente.

O uso da água na indústria varia de acordo com o nível de desenvolvimento de cada país, ou seja, países com alto nível de desenvolvimento utilizam cerca de 59% do total de água consumida nesse setor e países com baixo nível de desenvolvimento utilizam apenas cerca de 8% do total (FARMWEB, 2003). Em muitos países em desenvolvimento, a agricultura consome cerca de 90% de toda a água extraída dos rios, lagos e aquíferos subterrâneos (ESTADO DO MUNDO, 2004).

Os continentes que destinaram mais água no uso doméstico do que nos setores agrícola e industrial, em 2003, foram a América Central e Caribe, América do Sul e Oceania (23; 19 e 18%, respectivamente) e a África (10%) e Ásia (7%) foram os que menos consumiram água nesse setor.

A Ásia é o único continente que segue a tendência mundial de gastar mais água na agricultura (81%), indústria (11%) e no setor doméstico (7%), respectivamente (gráfico 1.23). A Índia e China foram os maiores consumidores, com 53,7% do total utilizado no continente, e com o Paquistão, Japão e Tailândia totalizaram 68,2% do consumo, em 2000.

Metade dos países asiáticos utilizou de 82 a 98% do total da água na agricultura. Convém citar que o menor percentual utilizado na agricultura foi de 48% (Coreia do Sul), comprovando o elevado uso nesse setor. Mesmo o Japão, com todo o seu desenvolvimento econômico e alta tecnologia, consumiu 62% de água na agricultura. No uso industrial, o maior percentual foi para Azerbaijão, Mongólia, China, Coreia do Norte, Vietnã, Malásia e Geórgia, numa média de 24,7%. A Índia destinou apenas 5% do seu total na indústria e 86% na agricultura. Alguns dos países mais pobres em recursos hídricos do Oriente Médio – Kuwait, Bahrain, Líbano, Israel – foram os que utilizaram os maiores percentuais do consumo de água para o uso doméstico (cerca de 36%). Índia e China utilizaram 8 e 7%, respectivamente, nesse setor (WRI, 2009).

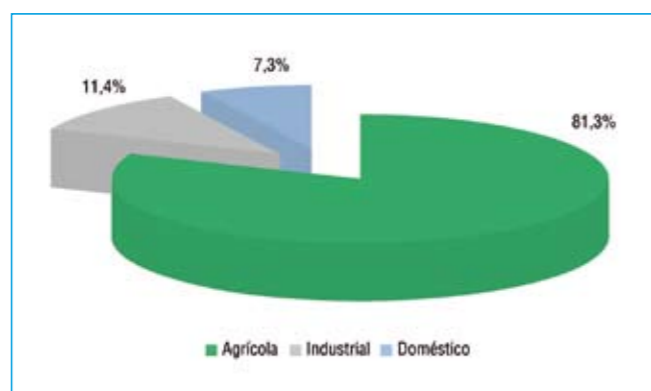


GRÁFICO 1.23 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA ÁSIA – 2003
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Na América do Norte são utilizados volumes equivalentes de água tanto na agricultura como na indústria. Em 2000, a agricultura utilizou 44% e a indústria, 42% do total de água consumida (gráfico 1.24). Os Estados Unidos consumiram oito vezes mais água que o México

e dez vezes mais que o Canadá, ou seja, 79,4% do total do continente. O Canadá consumiu 7,6% do total, no entanto a sua população correspondia a 11% do número populacional dos Estados Unidos. O México foi o país que consumiu mais água na agricultura (77%) e apenas 5% no setor industrial, ao passo que Canadá e Estados Unidos destinaram 68 e 46% da água nesse último setor, respectivamente. No uso doméstico, o maior consumidor foi o Canadá, com 20% do total de água consumida no país (WRI, 2009).

Os Estados Unidos possuem cerca de 60% dos campos de golfe mundiais e seus 700.000 hectares (7 mil km²) absorvem cerca de 15 bilhões de litros de água por dia. Os gramados verdes e bem aparados em áreas privadas e públicas cobrem de 12 a 20 milhões de hectares (120 mil a 200 mil km²), uma área pouco maior do que o Estado do Paraná, sendo que a irrigação diária desses gramados consome cerca de 30 bilhões de litros de água (30 milhões m³) - um volume que encheria 14 bilhões de pacotes de 6 latas de cerveja (ESTADO DO MUNDO, 2004). A irrigação dessas áreas, além de consumir quantidades elevadíssimas de água, ocorre durante os meses mais quentes do verão, quando a vazão de muitos rios e córregos está em seus níveis mais baixos.

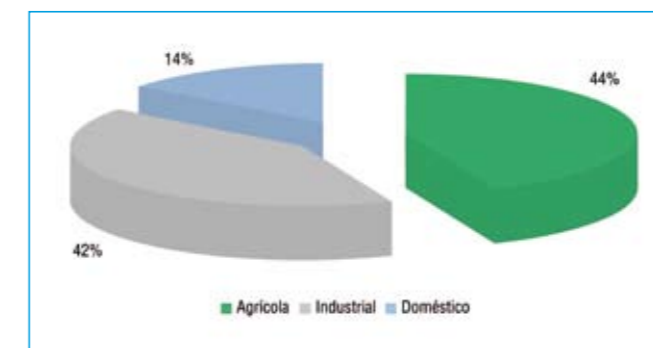


GRÁFICO 1.24 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA AMÉRICA DO NORTE - 2003
FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A Europa utilizou, em 2003, mais da metade, ou seja, 55% de toda água consumida para o uso industrial e apenas 29% na agricultura (gráfico 1.25). De fato, trata-se de um continente altamente industrializado.

A Rússia, no Leste Europeu, foi o maior consumidor em volume, com 18,7% do total consumido no continente, seguida pela Alemanha, Itália, França e Ucrânia, com 11,5; 10,8; 9,8 e 9,2%, respectivamente, totalizando 60%. Estes são também os países mais populosos do continente, demonstrando, nesse caso, uma relação proporcional entre população e consumo, com uma das exceções sendo verificada na Inglaterra, cujo número de habitantes é praticamente igual ao da França, mas o consumo de água representa apenas 2,3% do total europeu.

Metade dos países do continente europeu destina o maior uso de água para a indústria, com percentuais que vão de 54 a 85%. Os que utilizaram mais água nesse setor foram Bélgica/

Luxemburgo, Finlândia, Polônia, Bulgária e Irlanda (85, 84, 79, 78 e 77%, respectivamente), e os que utilizaram menos foram Malta (1%), Grécia (3%), Albânia (11%), Portugal (12%), Lituânia (15%) e Espanha (19%). Na agricultura, Grécia (81%) e Portugal (78%) e, no uso doméstico, Lituânia (78%) e Malta (74%) foram os maiores consumidores (WRI, 2009).

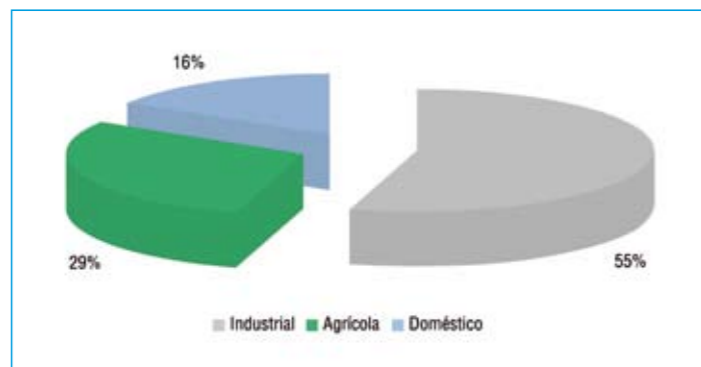


GRÁFICO 1.25 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA EUROPA - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

A África gasta mais água, respectivamente, com a agricultura, uso doméstico e indústria (gráfico 1.26). Em 2000, o Egito foi o maior consumidor em volume, com 32% do total utilizado no continente, seguido pelo Sudão, com 17,5%. Os percentuais desses dois países, mais Madagascar, Marrocos e África do Sul, totalizaram 68% de toda a água consumida no continente. Pouco menos da metade dos países da África utiliza de 80 a 99,4% do total da água consumida na agricultura. Lesoto destinou 40% tanto na indústria como no uso doméstico e foi o país africano que mais utilizou a água na indústria. No uso doméstico, os maiores consumidores foram Djibuti, Guiné Equatorial e a República Centro-Africana, com 84, 83 e 80%, respectivamente (WRI, 2009).

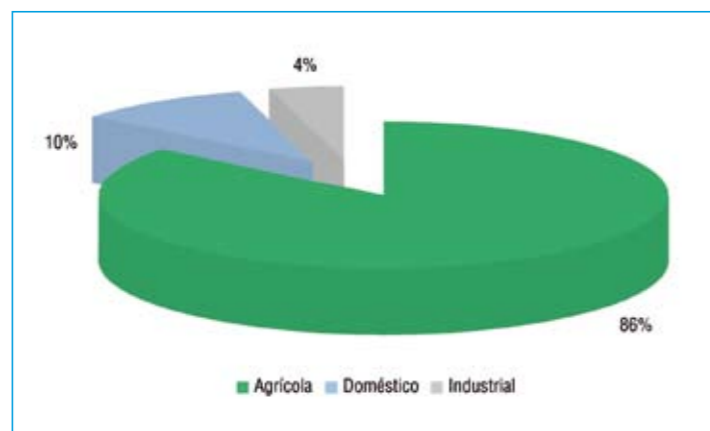


GRÁFICO 1.26 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA ÁFRICA - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Na América do Sul, o maior consumo de água deu-se, respectivamente, com a agricultura, uso doméstico e indústria (gráfico 1.27). O Brasil, com 36,1% do total, consumiu o dobro da

Argentina, que foi o segundo país em consumo, num total de 53,8%. Com exceção da Colômbia e da Venezuela, que consumiram aproximadamente 50% tanto na agricultura como no uso doméstico, os demais países consumiram mais água no setor agrícola, com percentuais de 46% (Colômbia) a 98% (Guiana). O Chile e o Brasil foram os que destinaram mais água para a indústria (25 e 18%, respectivamente) (WRI, 2009). Os dados referentes à Guiana Francesa, que possui uma das maiores disponibilidades de água *per capita*, não são fornecidos pela FAO e pelo WRI.

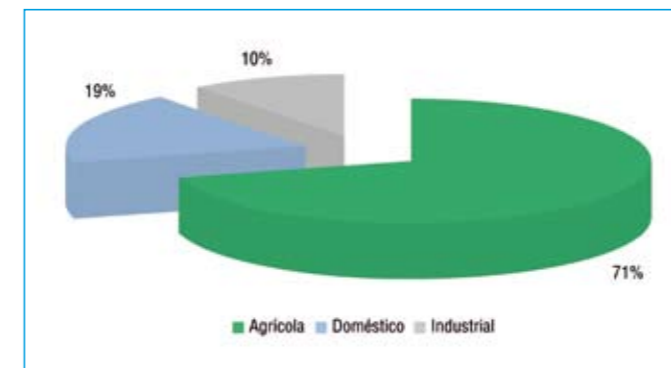


GRÁFICO 1.27 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA AMÉRICA DO SUL - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Na Oceania, a tendência também é um maior consumo de água, respectivamente, com a agricultura, uso doméstico e indústria (gráfico 1.28). A Austrália é o país que mais consome água, com 91% de consumo em 2000, numa proporção de onze vezes mais que a Nova Zelândia e cerca de 340 vezes mais que os outros países do continente. Vale citar que a população da Austrália é quatro vezes maior que a de Papua-Nova Guiné, cinco vezes maior que a da Nova Zelândia e 23 vezes maior que a das Ilhas Fiji. Essas ilhas e a Austrália consumiram mais água na agricultura, ou seja, 71 e 75%, respectivamente. Papua-Nova Guiné foi o país que gastou mais água com a indústria (56%) e com o uso doméstico (43%) e a Nova Zelândia consumiu quase o equivalente nos setores agrícola e doméstico (WRI, 2009).

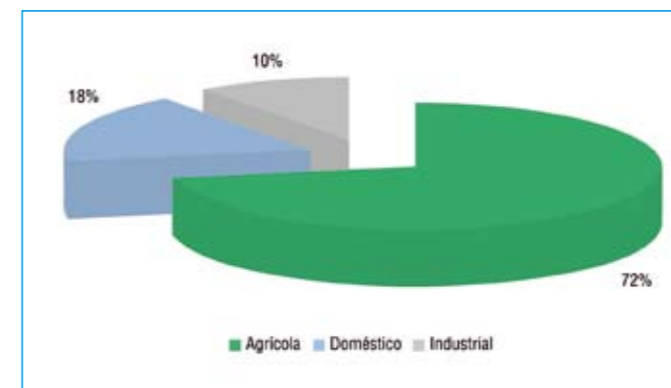


GRÁFICO 1.28 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA OCEANIA - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

Na América Central e no Caribe, a tendência de gastar mais água nos setores agrícola, doméstico e industrial, respectivamente, é a mesma verificada na América do Sul, África e Oceania (gráfico 1.29). Cuba apareceu em primeiro lugar em consumo de água, com 36,4% do total consumido no continente. A economia desta região é voltada para a agricultura e turismo e a maioria de seus países destina o maior consumo de água no setor agrícola (de 49 a 94%). O Panamá e Trindade/Tobago consomem mais água no setor doméstico (67 e 68%, respectivamente), e Belize e Barbados consomem mais água na indústria (73 e 45%, respectivamente) (WRI, 2009).

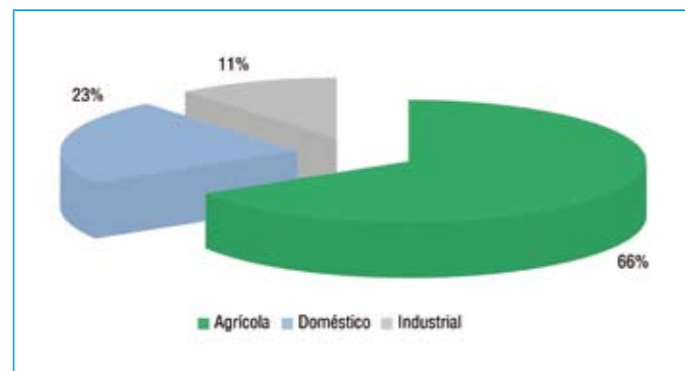


GRÁFICO 1.29 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA AMÉRICA CENTRAL E CARIBE - 2003
 FONTE: Elaborado a partir de FAO (2009)

5.3 Usos da água nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani

Dos quatro países da área de abrangência do Aquífero Guarani, o maior consumo de água foi verificado no Brasil, evidentemente em função do elevado número populacional em relação aos demais países, porém todos eles destinaram os maiores volumes de água nos setores agrícola (66,9%), doméstico (18,4) e industrial (14,6%), respectivamente (tabela 1.21).

TABELA 1.21 - USO DE ÁGUA POR SETORES NOS PAÍSES ABRANGIDOS PELO AQUÍFERO GUARANI - 2000

PAÍS	SETOR						TOTAL km³/ano
	AGRÍCOLA		DOMÉSTICO		INDUSTRIAL		
	km³/ano	% ⁽¹⁾	km³/ano	% ⁽¹⁾	km³/ano	% ⁽¹⁾	
Brasil	36,77	62,01	11,86	20,00	10,67	17,99	59,30
Argentina	21,60	74,00	4,96	16,99	2,63	9,01	29,19
Uruguai	3,02	96,18	0,09	2,87	0,03	0,96	3,14
Paraguai	0,35	71,43	0,10	20,41	0,04	8,16	0,49
TOTAL	61,74	66,93	17,00	18,43	13,50	14,64	92,24

FONTE: Elaborado a partir de FAO (2002a)

NOTA: (1) Porcentagem em relação ao total do país.

5.3.1 Usos da água na Argentina

Na Argentina, em 2000, o maior consumo ocorreu no setor da agricultura, seguido pelo setor doméstico e industrial (gráfico 1.30) (FAO, 2000). No mesmo ano, verificou-se um consumo *per capita* nesse país de 791 m³/hab./ano (WRI, 2009).

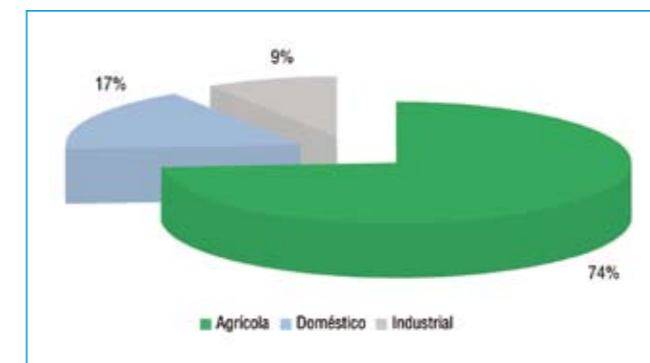


GRÁFICO 1.30 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA ARGENTINA - 2000
 FONTE: Elaborado a partir de WRI (2009)

5.3.2 Usos da água no Paraguai

No ano de 2000, verificou-se um consumo *per capita* no Paraguai de 90 m³/hab./ano, (WRI, 2009).

A irrigação é uma atividade pouco desenvolvida no Paraguai, apenas difundida na Região Oriental e principalmente a partir de águas superficiais (rios e córregos). Nessa região se produzem situações pontuais de escassez de água que se relacionam com a distribuição irregular das precipitações, nas quais é necessária uma irrigação de apoio. As condições climáticas e o isolamento da Região Ocidental têm limitado a atividade agrícola. Ainda que a região tenha zonas agroecológicas com certo potencial agrícola, a escassez de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos supõe talvez o maior fator limitante de sua produtividade. A região do Chaco caracteriza-se pela falta de drenagem natural e pode ter sua superfície inundada por mais de 5 meses (FAO, 2000).

No Paraguai, o consumo de água por setores também segue a mesma tendência da Argentina (gráfico 1.31).

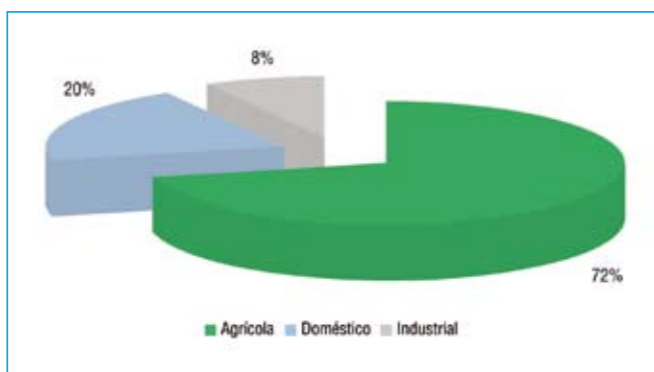


GRÁFICO 1.31 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NO PARAGUAI - 2000

FONTE: Elaborado a partir de WRI (2009)

5.3.3 Usos da água no Uruguai

O uso de água por diferentes setores no Uruguai chama a atenção, uma vez que esse país destina 96% dos recursos hídricos à agricultura e apenas 3 e 1% ao setor doméstico e industrial, respectivamente (gráfico 1.32).

As águas subterrâneas são utilizadas principalmente no abastecimento da população e na indústria do turismo e de maneira muito escassa na agricultura de irrigação, prevendo-se somente a continuação e ampliação da exploração dos aquíferos Raigón (Região Sul) e Salto (Região Norte) (FAO, 2000).

O consumo *per capita* no Uruguai, no ano de 2000, foi de 943 m³/hab./ano (WRI, 2009).

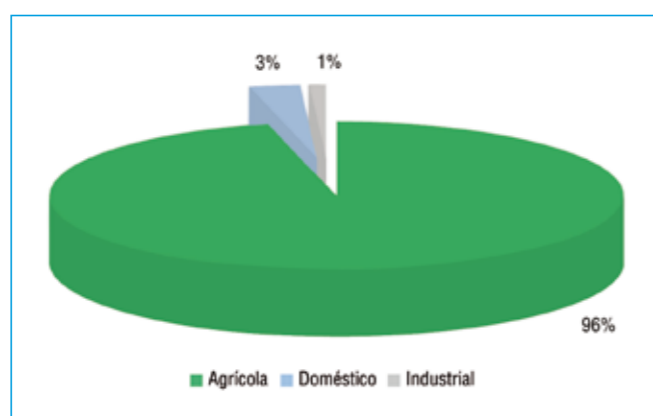


GRÁFICO 1.32 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NO URUGUAI - 2000

FONTE: Elaborado a partir de WRI (2009)

5.3.4 Usos da água no Brasil

O Brasil segue a tendência mundial de gastar o maior percentual de água na agricultura, correspondendo à quase a metade das demandas, porém gasta mais água no abastecimento doméstico do que no abastecimento industrial, conforme gráfico 1.33 (OLIVEIRA FILHO, 2000).

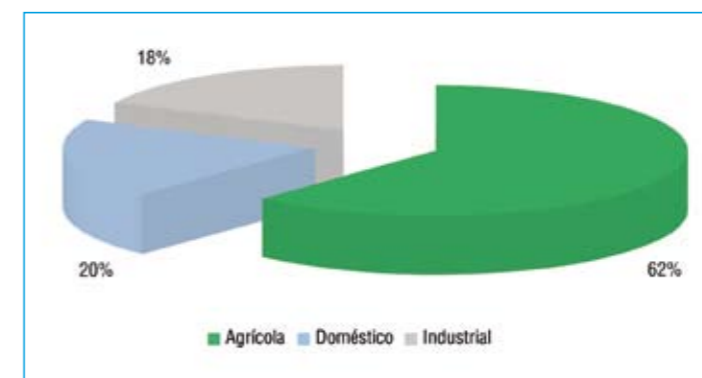


GRÁFICO 1.33 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NO BRASIL - 2000

FONTE: Elaborado a partir de WRI (2009)

O Brasil, embora com a quinta maior população do mundo, no ano de 2000, consumiu menos água que Paquistão, Japão, Tailândia, Bangladesh, Vietnã, Irã, Egito, Rússia, México, nos quais a população é menor. O Brasil apareceu em décimo quarto lugar em consumo de água, com 59,2 km³/ano, equivalente a 1,6% do total de água consumida no mundo (FAO, 2002a), sendo 62% (36,6 km³/ano) na agricultura, 18% (10,6 km³/ano) na indústria e 20,3% (12,0 km³/ano) no abastecimento doméstico (tabela 1.22 e gráfico 1.33).

O consumo *per capita* no Brasil, em 2000, foi de 341 m³/hab./ano (WRI, 2009).

TABELA 1.22 - DEMANDA DE ÁGUA POR SETORES NO BRASIL

USO	BARTH, 1987			FGV/SRH/MMA, 1998			FAO, 2002a			ANA, 2002		
	m ³ /s	km ³ /ano	%	m ³ /s	km ³ /ano	%	m ³ /s	km ³ /ano	%	m ³ /s	km ³ /ano	%
Animal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115,1	3,6	5,3
Agricultura	506,1	15,9	47	1.344,0	42,2	63	1.161,6	36,6	62	1.225,6	38,9	56,3
Doméstico	314,5	9,9	30	499,0	12,1	18	380,5	12,0	20	580,5	18,4	26,7
Indústria	247,3	7,8	23	299,0	9,4	14	339,3	10,6	18	256,7	8,1	11,8
TOTAL	1.067,9	33,7	100	2.142,0	63,7	95	1.881,4	59,2	100	2.177,9	69,0	100

A Região Sudeste do país registrou o maior consumo de água, com 44%, seguida pela Região Sul, com 31% e o Nordeste, com 19% (tabela 1.23 e gráfico 1.34) (BARTH, 1987). As regiões Centro-Oeste e Norte foram as que consumiram menos água (4 e 2%, respectivamente) e também são as menos populosas do Brasil. A Região Nordeste, embora com o número de habitantes duas vezes superior ao da Região Sul, consome menos água que esta, demonstrando que o desenvolvimento socioeconômico, a disponibilidade e o acesso à água, além dos costumes regionais influenciam no consumo dela.

TABELA 1.23 - USO DE ÁGUA NOS DIFERENTES SETORES NAS REGIÕES BRASILEIRAS – 1987

REGIÕES	SETOR			TOTAL km³/ano
	AGRÍCOLA	INDÚSTRIA	DOMÉSTICO	
	km³/ano	km³/ano	km³/ano	
SUDESTE	4,29	5,56	5,17	15,02
SUL	7,25	1,45	1,74	10,44
NORDESTE	3,91	0,55	2,06	6,52
CENTRO-OESTE	0,45	0,14	0,59	1,18
NORTE	0,06	0,10	0,36	0,52
BRASIL	15,96	7,80	9,92	33,68

FONTE: Barth (1987) citado por Lanna (2001)

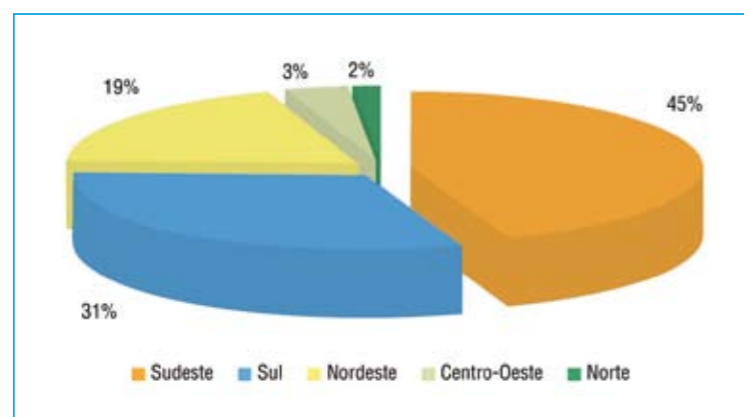


GRÁFICO 1.34 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO CONSUMO TOTAL DE ÁGUA NAS REGIÕES BRASILEIRAS – 1987

FONTE: Adaptado de Barth (1987)

Quanto à utilização de água por setores, apenas as regiões Sul e Nordeste seguem a tendência brasileira de gastar mais água na agricultura, no setor doméstico e industrial, respectivamente, sendo que a Região Sul foi a que mais gastou água na agricultura (69%) (gráfico 1.35).

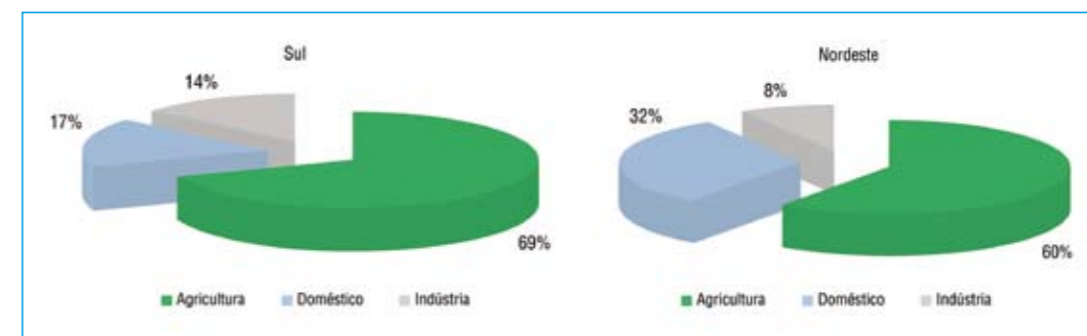


GRÁFICO 1.35 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NAS REGIÕES SUL E NORDESTE – 1987

FONTE: Adaptado de Barth (1987)

A Região Sudeste destina o maior percentual de consumo de água (37%) ao setor industrial e o menor percentual, curiosamente, para o setor agrícola. O consumo de água por setores nessa região difere totalmente da tendência brasileira de uso da água (gráfico 1.36). Com relação às demais regiões, todas gastam menos água no setor industrial, com exceção da Região Norte (gráfico 1.37).

A quantidade de uso de água na indústria é muito variada, dependendo dos insumos, produto, tecnologia e nível de reciclagem. Uma tonelada de aço pode ser produzida com 5 ou 190 m³ de água e uma tonelada de papel com consumos entre 57 ou 340 m³, e não existem estímulos à redução desse consumo, uma vez que na maioria das atividades industriais o fator água tem custo pouco significativo ante ao custo dos demais fatores (LANNA, 2001).

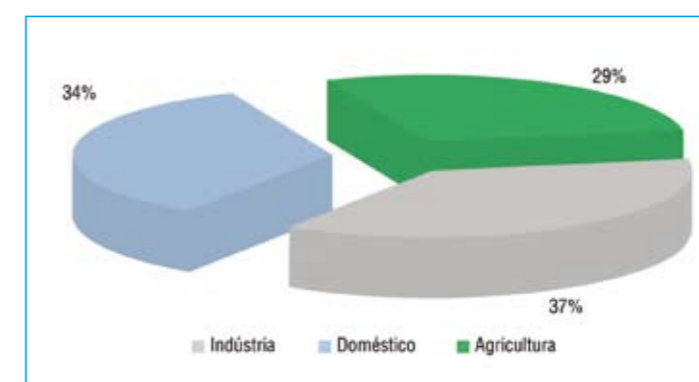


GRÁFICO 1.36 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NA REGIÃO SUDESTE – 1987

FONTE: Adaptado de Barth (1987)

Nas regiões Norte e Centro-Oeste, o maior percentual de consumo de água é destinado ao setor doméstico, sendo que a Região Norte apresenta o maior percentual, com 69% (gráfico 1.37).

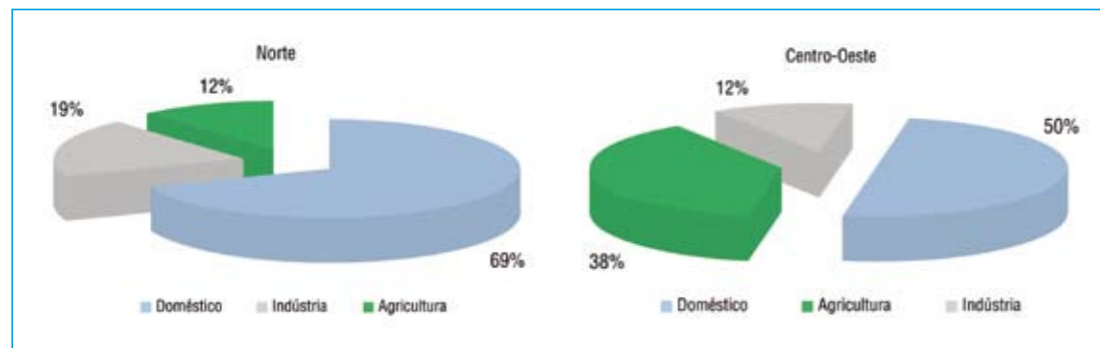


GRÁFICO 1.37 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DO USO DA ÁGUA POR SETORES NAS REGIÕES NORTE E CENTRO-OESTE – 1987
 FONTE: Adaptado de Barth (1987)

De acordo com Barth (1987), os cinco estados que mais consumiram água no Brasil foram: São Paulo e Rio Grande do Sul, com 26% (8,7 km³/ano) e 23% (7,7 km³/ano), respectivamente; Minas Gerais (3,4 km³/ano), Rio de Janeiro (2,4 km³/ano) e Bahia (1,7 km³/ano). Esses cinco estados são os mais populosos do país, mas o consumo total de água não se apresenta diretamente proporcional ao número da população de cada um, pois o Rio Grande do Sul é o menos populoso dos cinco, mas aparece em segundo lugar em consumo. Os demais estados consomem juntos 29% do total (gráfico 1.38).

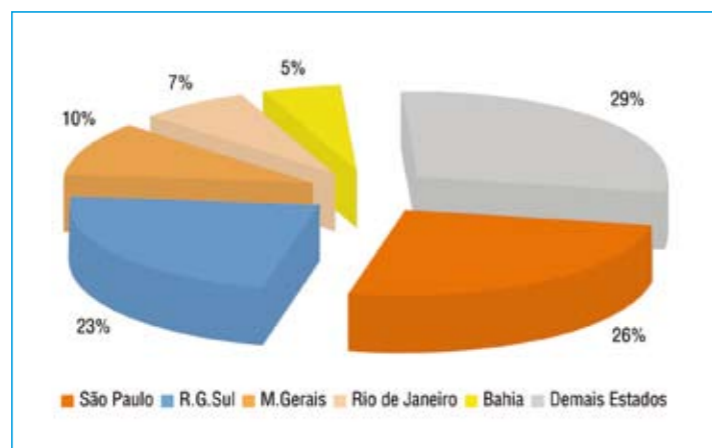


GRÁFICO 1.38 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO CONSUMO TOTAL DE ÁGUA NOS ESTADOS BRASILEIROS – 1987
 FONTE: Adaptado de Barth (1987)

Segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento/Ministério das Cidades), o Brasil apresentou um consumo médio de 119,5 litros/hab./dia no ano de 2006. A Região Sudeste teve o maior consumo diário *per capita* (154,1 litros/hab./dia) seguido pelo Centro-Oeste, 138,5 litros/hab./dia (tabela 1.24).

TABELA 1.24 - CONSUMO DIÁRIO *PER CAPITA* DE ÁGUA NAS REGIÕES BRASILEIRAS

REGIÕES	CONSUMO MÉDIO (litros/hab./dia)
Sudeste	139,10
Centro-Oeste	125,41
Sul	118,60
Norte	106,93
Nordeste	104,58
BRASIL	119,51

FONTE: SNIS (2007)

O Rio de Janeiro foi o estado que teve o maior consumo médio *per capita* de água com 191 litros/dia, seguido pelo Mato Grosso, Distrito Federal e São Paulo. Pernambuco e Roraima foram os estados que menos consumiram (tabela 1.25). Nas principais capitais brasileiras, uma pessoa pode gastar até 400 litros por dia (nas zonas nobres) e na periferia se gasta 10 vezes menos (OLIVEIRA FILHO, 2000).

TABELA 1.25 - CONSUMO DIÁRIO *PER CAPITA* DE ÁGUA NOS ESTADOS BRASILEIROS – 2006

ESTADO	litros/hab./dia	ESTADO	litros/hab./dia	ESTADO	litros/hab./dia
Rio de Janeiro	191,2	Santa Catarina	118,9	Ceará	102,9
Mato Grosso	177,3	Rio Grande do Sul	118,5	Mato Grosso do Sul	102,2
Distrito Federal	166,8	Paraná	118,5	Pará	97,3
São Paulo	159,4	Minas Gerais	117,8	Rondônia	94,6
Espírito Santo	147,9	Maranhão	113,3	Sergipe	92,7
Amapá	140,2	Tocantins	112,1	Paraíba	89,5
Rio Grande do Norte	137,7	Bahia	108,8	Piauí	82,1
Alagoas	137,7	Goiás	107,8	Pernambuco	81,8
Amazonas	128,5	Acre	104,9	Roraima	76,5

FONTE: SNIS (2007)

6 Abastecimento de água e saneamento básico

Não ter acesso a água e a saneamento significa não ter água suficiente para satisfazer as necessidades humanas mais básicas, e muitos países ainda não tratam esses serviços como uma prioridade política, sendo que os déficits nesses serviços têm a sua origem nas instituições e nas escolhas políticas, não na disponibilidade da água.

A água exerce papel fundamental no quadro de saúde de uma população, afetando de várias maneiras a saúde do homem, seja por meio da ingestão direta, na preparação de alimentos, na higiene pessoal, na agricultura, na higiene do ambiente, nos processos industriais ou nas atividades de lazer.

A má qualidade da água, a interrupção no seu abastecimento, a deficiência nos sistemas de saneamento básico, o racionamento de água (escassez, estiagem), bem como, o excesso de água (enchentes) são problemas que influem no quadro de saúde humana, uma vez que aumentam a vulnerabilidade de contaminação dos sistemas de distribuição de água. Esse quadro é agravado quando a população recorre a formas inadequadas de armazenamento da água, utilizando-se de recipientes inapropriados e não tendo o devido cuidado com o manuseio da água. Tal situação aumenta o risco de contaminação e favorece também o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças.

A ausência de água potável e de saneamento adequado é uma das principais causas de pobreza e de subnutrição (PNUD, 2006):

- ▶ algumas das pessoas mais pobres do mundo pagam alguns dos preços mais altos pela água, refletindo a cobertura limitada dos prestadores de serviços de água nos bairros degradados e nos povoados informais em que vivem as pessoas carentes;
- ▶ a coleta e o transporte de água a longa distância impedem que milhões de jovens moças frequentem a escola, condenando-as a um futuro de analfabetismo e de escolhas restritas;
- ▶ mais de 80 milhões de chineses andam mais de um quilômetro e meio por dia para conseguir água, o mesmo acontecendo em inúmeras nações;

- ▶ as doenças e as perdas de produtividade ligadas à água e ao saneamento nos países em desenvolvimento chegam a 2% do PIB, elevando-se a 5% na África Subsaariana;
- ▶ 80% das doenças em nações desenvolvidas resultam do consumo e exposição à água não potável (equivalente a um bilhão de enfermidades);
- ▶ as doenças provocadas pela água, como a diarreia e as infecções parasitárias, impedem a presença de cerca de 150 milhões de crianças nos bancos escolares, durante vários dias ao ano, diminuindo o potencial de aprendizagem;
- ▶ 3 milhões de pessoas morrem todos os anos de doenças associadas aos problemas com água e saneamento, a maioria crianças (cerca de 1,8 milhão), principalmente em decorrência de diarreia causada pela água contaminada e por más condições de saneamento, representando a segunda principal causa de mortalidade infantil;
- ▶ as más condições de saneamento e de drenagem fomentam a infecção por malária, que provoca cerca de 1,3 milhão de mortes por ano, 90% das quais, de crianças com menos de cinco anos;
- ▶ a restrição às oportunidades de higiene expõe as pessoas portadoras do HIV a maiores riscos de infecção, como exemplo, as mães infectadas pelo HIV necessitam de água potável para preparar leite artificial para seus filhos.

A melhoria no saneamento contribui no abastecimento de água e destino adequado de dejetos, proporcionando vantagens à saúde pública, aos meios de subsistência e à dignidade humana – vantagens que, das famílias, se estendem a comunidades inteiras, reduzindo o risco de morte de uma criança em 50% (com o aumento de 1% nos serviços de água tratada e saneamento, 6% das mortes de crianças poderiam ser evitadas), além de reduzir os custos de tratamento de doenças infectocontagiosas transmitidas pela água, a valores que podem chegar a 1,7 bilhão de dólares, nos sistemas de saúde (PNUD, 2006).

Em 2008, cerca de 887 milhões de pessoas no mundo (13,2% da população mundial) não tinham acesso à água potável de boa qualidade, a grande maioria, cerca de 740 milhões de pessoas, vivendo no meio rural, e 2,6 bilhões de pessoas (38,8% da população mundial) não contavam com saneamento básico. Desse contingente, 814 milhões de pessoas sem abastecimento de água e 2,4 bilhões sem saneamento básico concentravam-se na África Subsaariana e na Ásia (OMS, 2010), tabela 1.26.

Segundo dados da OMS (2010), a porcentagem de pessoas ao redor do mundo que passou a ter acesso ao abastecimento de água subiu de 77% a 87%, entre 1990 e 2008. O maior índice de crescimento no abastecimento de água foi verificado no Extremo Oriente, com 20%. Nas áreas urbanas, o abastecimento de água potável chegou a 96% da população, índice que vem se mantendo desde 2000, e, 78% da população rural foi atendida neste serviço.

No mesmo período, a porcentagem de pessoas atendidas com saneamento básico subiu de 54% a 61%, sendo que, em 2008, apenas 45% da população rural tinha acesso a este serviço, enquanto que 76% da população urbana era atendida, porém o número de pessoas que vivem nas cidades, sem acesso a saneamento básico, tem aumentado devido ao rápido crescimento populacional, ao êxodo rural e à falta de planejamento de infraestrutura urbana.

TABELA 1.26 - POPULAÇÃO MUNDIAL COM E SEM ACESSO À ÁGUA POTÁVEL E A SANEAMENTO BÁSICO – 2008

REGIÃO	POPULAÇÃO ANO 2008	ÁGUA POTÁVEL				SANEAMENTO			
		SERVIDA		NÃO SERVIDA		SERVIDA		NÃO SERVIDA	
	(x 1000)	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%
África	985.545	639.257	64,9	346.288	35,1	402.708	40,9	582.837	59,1
Ásia	3.940.506	3.456.889	87,7	483.617	12,3	2.063.598	52,4	1.876.908	47,6
América Latina e Caribe	571.721	533.310	93,3	38.411	6,7	457.000	79,9	114.721	20,1
Oceania	9.322	4.646	49,8	4.676	50,2	4.805	51,5	4.517	48,5
Países desenv.	1.225.388	1.211.492	98,9	13.896	1,1	1.190.004	97,1	35.384	2,9
TOTAL	6.732.482	5.845.594	86,8	886.888	13,2	4.118.115	61,2	2.614.367	38,8

FONTE: Elaborado a partir de OMS (2010)

NOTA: Países desenvolvidos - países europeus, EUA, Canadá, Austrália, Nova Zelândia e Japão.
População projetada.

A taxa de abastecimento de água da população na América Latina chegou a 93,3%, em 2008, mas cerca de 38 milhões de pessoas ainda não tinham acesso à água potável. Aproximadamente 114 milhões (20,1%) de pessoas, nessa região, não contavam com sistema de saneamento básico adequado, com cerca de 39 milhões residentes no Brasil, porém as menores taxas de cobertura desse serviço foram apresentadas pelo Haiti (16,6%), na América Central e Caribe, e Bolívia (25,4%), na América do Sul (OMS, 2010).

Na Oceania (sem considerar a Austrália e a Nova Zelândia), cerca de 50% da população (4,6 milhões de pessoas) não tinha acesso à água potável e 48,5% não tinha acesso a saneamento básico adequado, em 2008. Nos dois países desenvolvidos desse continente, Austrália e a Nova Zelândia, as taxas chegaram a 100% para os dois serviços (OMS, 2010).

As taxas de abastecimento de água mais baixas do mundo apresentam-se na África Subsaariana, mas a maioria das pessoas sem acesso à água potável vive na Ásia. A mesma situação ocorre em relação ao saneamento básico. Em 2008, apenas 31,3% da população afro-subsariana contava com esse serviço, taxa próxima à do sul da Ásia (35,4%), sendo que, nesse continente, cerca de 1,8 bilhão de pessoas viviam sem acesso ao mais elementar sistema de saneamento básico, com aproximadamente 1,4 bilhão de pessoas concentradas na China e na Índia (OMS, 2010), tabela 1.27.

TABELA 1.27 - POPULAÇÃO COM E SEM ACESSO DE ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO BÁSICO NA ÁFRICA E NA ÁSIA – 2008

REGIÃO	POPULAÇÃO ANO 2008	ÁGUA POTÁVEL				SANEAMENTO			
		SERVIDA		NÃO SERVIDA		SERVIDA		NÃO SERVIDA	
	(x 1000)	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%
Norte	163.969	147.738	90,1	16.231	9,9	145.922	89,0	18.047	11,0
Subsaariana	821.576	491.519	59,8	330.057	40,2	256.786	31,3	564.790	68,7
ÁFRICA	985.545	639.257	64,9	346.288	35,1	402.708	40,9	582.837	59,1
Extremo Oriente	1.412.023	1.261.923	89,4	150.100	10,6	793.609	56,2	618.414	43,8
Ásia Meridional	1.595.435	1.378.432	86,4	217.003	13,6	564.865	35,4	1.030.570	64,6
Sudeste Asiático	575.624	493.097	85,7	82.527	14,3	395.468	68,7	180.156	31,3
Ásia Ocidental	297.418	271.058	91,1	26.360	8,9	250.905	84,4	46.513	15,6
Ásia Central	60.006	52.379	87,3	7.627	12,7	58.751	97,9	1.255	2,1
ÁSIA	3.940.506	3.456.889	87,7	483.617	12,3	2.063.598	52,4	1.876.908	47,6

FONTE: Elaborado a partir de OMS (2010)

NOTA: População projetada.

Em 2008, cerca de 37 países forneciam água potável a menos de 70% dos seus cidadãos, entre os quais estão: Somália (30%), Etiópia (38%), Papua-Nova Guiné, Madagascar, Guiné Equatorial, República Democrática do Congo, Moçambique, Afeganistão, Níger, Serra Leoa e Mauritânia – com taxas entre 40 e 49% (OMS, 2010).

Cerca de 48 países forneciam uma rede de saneamento segura a menos da metade de sua população, alguns com taxas de cobertura escandalosamente abaixo de 20%, como no Níger e Chade (9%), Burkina Faso, Madagascar, Etiópia, Togo, Benin, Gana, Serra Leoa e Eritreia, com taxas entre 11 e 14%; Moçambique, Haiti, Libéria e Guiné com taxas entre 16 e 19%). São 818 milhões de pessoas na Índia, 507 milhões na China, 109 milhões na Indonésia, 103 milhões na Nigéria, 98 milhões no Paquistão, 75 milhões em Bangladesh e 71 milhões na Etiópia sem acesso a esse serviço, o que significa que, nesse país, apenas uma em cada 9 pessoas tem acesso a saneamento básico (OMS, 2010).

De acordo com o Relatório do Desenvolvimento Humano 2006, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2006), globalmente, o número de pessoas sem acesso a saneamento melhorado representava um déficit 2,5 vezes superior ao déficit de acesso à água potável. Se o modelo dos países desenvolvidos fosse o ponto de referência, o número de pessoas privadas de saneamento seria bem maior do que os dados registados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), sendo que o déficit global subiria de 2,6 bilhões para cerca de 4 bilhões de pessoas. Essa lacuna no setor de saneamento entre países desenvolvidos e em desenvolvimento é um exemplo de desigualdade no desenvolvimento humano (PNUD, 2006).

6.1 Abastecimento de água e saneamento básico nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani

Nos países da área de abrangência do Aquífero Guarani, 96,6% da população tem acesso ao serviço de abastecimento de água potável e 18,5% (cerca de 44,5 milhões de pessoas) não tem acesso ao serviço de saneamento básico. Essas pessoas concentram-se, principalmente, no Brasil (OMS, 2010), tabela 1.28.

TABELA 1.28 - POPULAÇÃO COM E SEM ACESSO DE ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO BÁSICO NOS PAÍSES DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO AQUÍFERO GUARANI – 2008

REGIÃO	POPULAÇÃO ANO 2008 (x 1000)	ÁGUA POTÁVEL				SANEAMENTO			
		SERVIDA		NÃO SERVIDA		SERVIDA		NÃO SERVIDA	
		nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%	nº pessoas (x 1000)	%
Argentina	39.883	38.513	96,6	1.370	3,4	35.848	89,9	4.035	10,1
Brasil	191.972	185.931	96,9	6.041	3,1	153.278	79,8	38.694	20,2
Paraguai	6.238	5.358	85,9	880	14,1	4.376	70,2	1.862	29,8
Uruguai	3.349	3.349	100,0	0	0,0	3.346	99,9	3	0,1
TOTAL	241.442	233.151	96,6	8.291	3,4	196.848	81,5	44.594	18,5

FONTE: Elaborado a partir de OMS (2010)

NOTA: População projetada.

6.2 Abastecimento de água e saneamento básico no Brasil

No Brasil, o quadro epidemiológico brasileiro mostra uma forte relação entre diversas enfermidades e o precário quadro de saneamento básico, que reflete nos aspectos de quantidade e qualidade da água. A baixa oferta dos serviços de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos, e as condições inadequadas de moradia têm forte associação com os elevados casos de morbidade e mortalidade de doenças, como: diarreias, verminoses, hepatites, infecções cutâneas e outras. O despejo de esgotos domésticos e a presença de resíduos de agrotóxicos são as formas mais frequentes de poluição e contaminação encontradas nos mananciais superficiais de abastecimento público. Cerca de 1,5 milhão de casos anuais de diarreia ocorrem no Brasil, sendo que a Região Nordeste responde por cerca de 50% dos casos, seguida da Região Norte, com 15% (MDDA/CENEPI/FUNASA/MS em MMA, 2003).

De acordo com os dados da OMS (2010), o índice de abastecimento de água no Brasil, em 2008, era de 97%, sendo que o abastecimento atendia 99% da população urbana e 84% da população rural. A população com acesso a saneamento básico era de 80%, sendo 87% equivalente à população urbana e 37% à população rural.

Os índices mais baixos de abastecimento de água e saneamento encontram-se nas regiões Norte e Nordeste, onde as taxas de urbanização são mais baixas e são precárias as condições de atendimento das populações rurais. Em geral inexistem sistemas públicos de abastecimento de água na área rural, submetendo as populações ali residentes a utilizarem fontes de abastecimento nem sempre adequadas ou seguras do ponto de vista sanitário (MMA, 2003). O percentual de coleta de esgoto para a população urbana alcançou, em 2007, a marca de 49,1% sendo que 32,5% deste é tratado (SNIS, 2007).

Na Região Norte – onde se situa a Amazônia – há abundância de água, como consequência, as populações são menos dependentes do poder público para o seu fornecimento, contudo a possibilidade de utilização de fontes de água menos confiáveis, sem um adequado tratamento, pode constituir-se num grave problema de saúde pública. As populações podem ficar privadas dos benefícios de uma água adequadamente tratada que possua, no mínimo, desinfecção (cloração) e fluoretação para prevenção da cárie dentária infantil (MMA, 2003), tabela 1.30.

No Nordeste, as soluções para suprimento de água são caras e complexas, exigindo uma participação ativa do Estado na busca de fontes de água bruta que garantam o suprimento contínuo, principalmente nos períodos de seca. Essa é também a região mais crítica do país em termos de mortalidade infantil (MMA, 2003).

O semiárido do nordeste e as áreas metropolitanas do sudeste brasileiro, devido à elevada demanda e ao reduzido nível de disponibilidade hídrica, concentram os maiores problemas de racionamento nos sistemas com rede de distribuição de água, sendo que a Região Nordeste apresenta o pior quadro, com constante processo de racionamento de água, e está diretamente vinculada a problemas de seca e estiagem (MMA, 2003).

Os estados das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte apresentaram índice de atendimento total com abastecimento de água entre 80,1% a 90%, enquanto que os estados da Região Nordeste, mais um estado do Norte (Amazonas), apresentaram índice entre as faixas de 60,1% a 80,0%. Apenas o Estado do Pará situou-se na menor faixa (< 40%) e os estados de São Paulo, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul apresentaram índice superior a 90%. Quanto ao índice de atendimento total com coleta de esgotos, os dois estados com melhores índices (> 70%) foram São Paulo e Distrito Federal, enquanto que na pior faixa (< 10%) situaram-se 5 estados: Rondônia, Pará, Amapá, Tocantins e Piauí. Na segunda melhor faixa (40,1 a 70,0%) ficaram os estados de Minas Gerais, do Rio de Janeiro e do Paraná (mapas 1.6 e 1.7) (SNIS, 2007).

Numa análise evolutiva dos últimos quatro anos (2003 a 2006), os dados do SNIS indicam, no geral, crescimentos significativos para os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário do Brasil, que incorporaram novas 5,2 milhões de ligações ativas de água e 3,2 milhões de ligações ativas de esgotos, correspondendo a incrementos anuais médios de 4,5% e 6,3%, respectivamente.

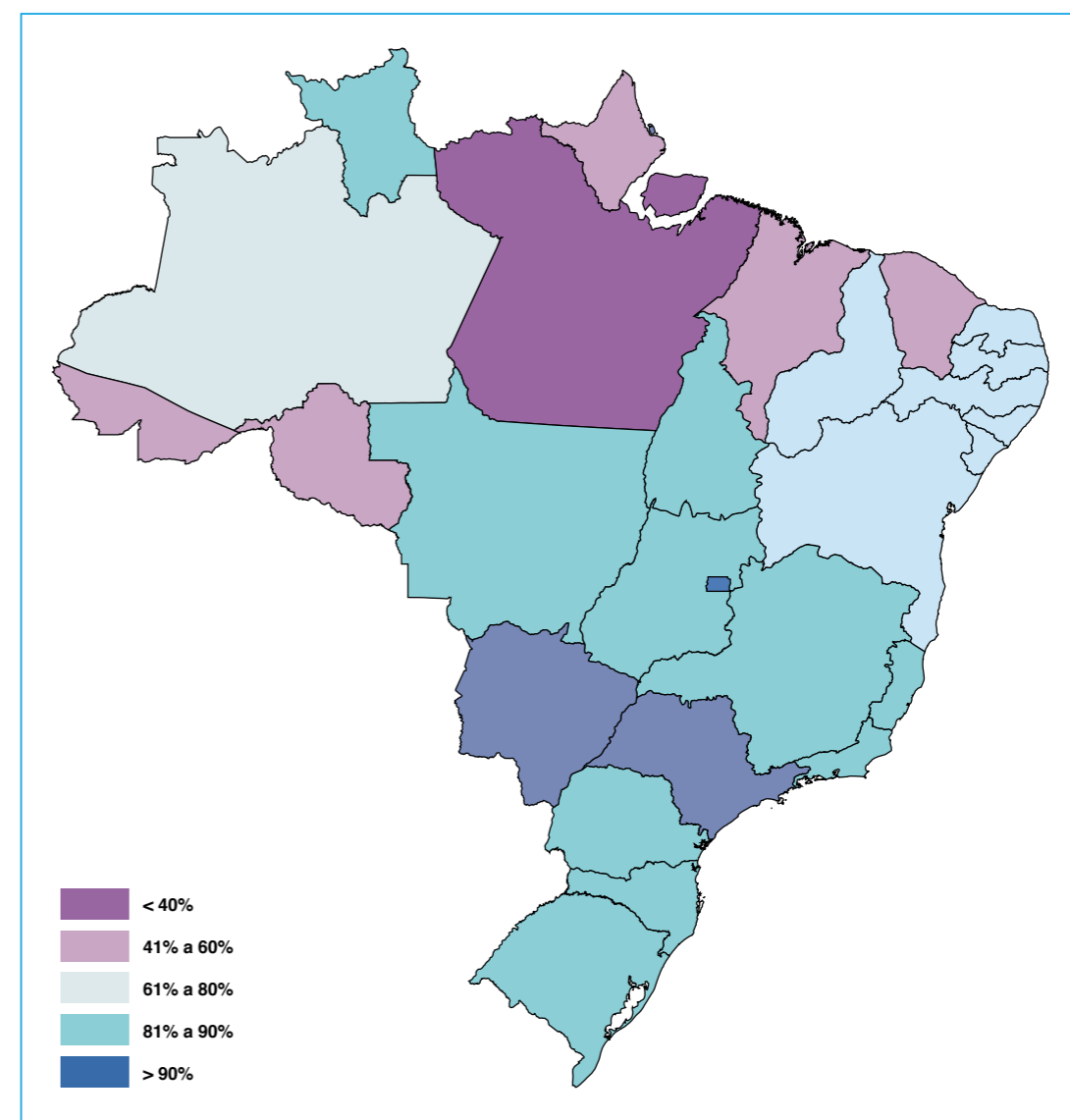
TABELA 1.30 - SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO NAS REGIÕES BRASILEIRAS - 2006

REGIÃO	ATENDIMENTO DE ÁGUA		ATENDIMENTO DE ESGOTO			CONSUMO PER CAPITA DE ÁGUA (litro/hab./dia)
	TOTAL (%)	URBANO (%)	TOTAL (%)	URBANO (%)	COLETA (%)	
NORTE	53,2	81,0	15,4	21,4	21,7	106,9
NORDESTE	54,4	89,3	22,1	33,5	42,3	104,6
SUDESTE	74,3	95,7	67,0	81,4	67,2	139,1
SUL	63,1	95,3	77,2	39,3	36,9	118,6
CENTRO-OESTE	80,4	71,9	27,8	34,8	30,4	125,4
BRASIL	64,1	92,4	47,9	60,1	53,1	119,3

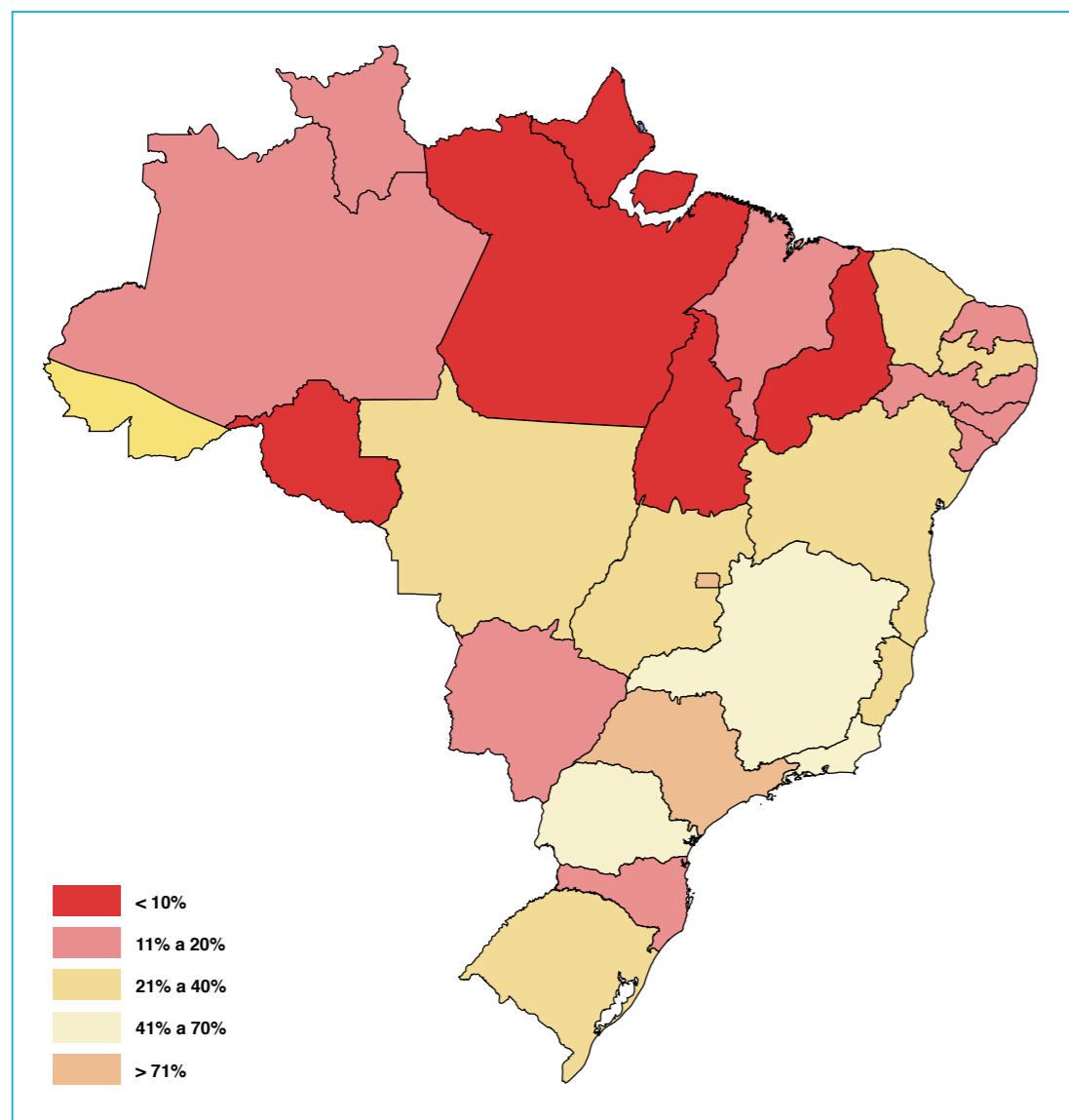
FONTE: SNIS (2007)

O desperdício é a principal ameaça ao abastecimento de água no Brasil – 40% da água captada no país para abastecimento urbano é perdida. A cada segundo são retirados dos rios e do subsolo no Brasil 840 mil litros de água para consumo humano urbano. As perdas de água se concentram na produção de alimentos com um desperdício que chega a 50% da água usada na irrigação, principalmente por meio da evaporação, porque a maioria dos agricultores ainda utiliza a pulverização aérea, na qual boa parte da água é carregada pelo vento ou evapora, em vez de recorrerem ao sistema de gotejamento, que despeja gotas diretamente na raiz nas plantas (PNUD, 2006). No uso doméstico, as redes malconservadas são responsáveis por perdas de 40% na distribuição de água. De cada 100 litros que as companhias captam, somente 60, em média, chegam à casa das pessoas (Antônio Félix DOMINGUES, 2006, comunicação pessoal).

Ainda segundo relatório do Instituto Socioambiental (ISA), citado por Lourenço (2008), que traça um panorama do alcance de sistemas de saneamento básico e do volume de desperdício de águas no país, o desperdício de água no Brasil é suficiente para abastecer 38 milhões de pessoas e essa perda de cerca de seis bilhões de litros acontece entre a retirada dos mananciais e a chegada às torneiras, causada por vazamento nas redes de abastecimento, submedição nos hidrômetros e fraudes. A maioria das capitais – 15 das 27 – perdem mais da metade da água produzida, de acordo com o relatório. Porto Velho, capital de Rondônia, é a campeã em desperdício, com 78,8% de perda. As cidades de Rio Branco, de Manaus e de Belém também têm índices superiores a 70%. O desperdício nessas capitais seria suficiente para abastecer quase cinco milhões de habitantes.



MAPA 1.6 – ÍNDICE DE ATENDIMENTO TOTAL DE ÁGUA NOS ESTADOS BRASILEIROS - 2006
FONTE: SNIS (2007), IBGE (2003)



MAPA 1.7 – ÍNDICE DE ATENDIMENTO TOTAL DE COLETA DE ESGOTOS NOS ESTADOS BRASILEIROS - 2006
 FONTE: SNIS (2007), IBGE (2003)

A integração das águas

2

*Águas Subterrâneas
e Aquíferos*

1 Águas subterrâneas

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada.

Após a precipitação, parte das águas que atinge o solo se infiltra e percola no interior do subsolo, durante períodos de tempo extremamente variáveis, decorrentes de muitos fatores:

- ▶ porosidade do subsolo: a presença de argila no solo diminui sua permeabilidade, não permitindo uma grande infiltração;
- ▶ cobertura vegetal: um solo coberto por vegetação é mais permeável do que um solo desmatado;
- ▶ inclinação do terreno: em declividades acentuadas, a água corre mais rapidamente, diminuindo a possibilidade de infiltração;
- ▶ tipo de chuva: chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

Durante a infiltração, uma parcela da água sob a ação da força de adesão ou de capilaridade fica retida nas regiões mais próximas da superfície do solo, constituindo a zona não saturada. Outra parcela, sob a ação da gravidade, atinge as zonas mais profundas do subsolo, constituindo a zona saturada (figura 2.1).

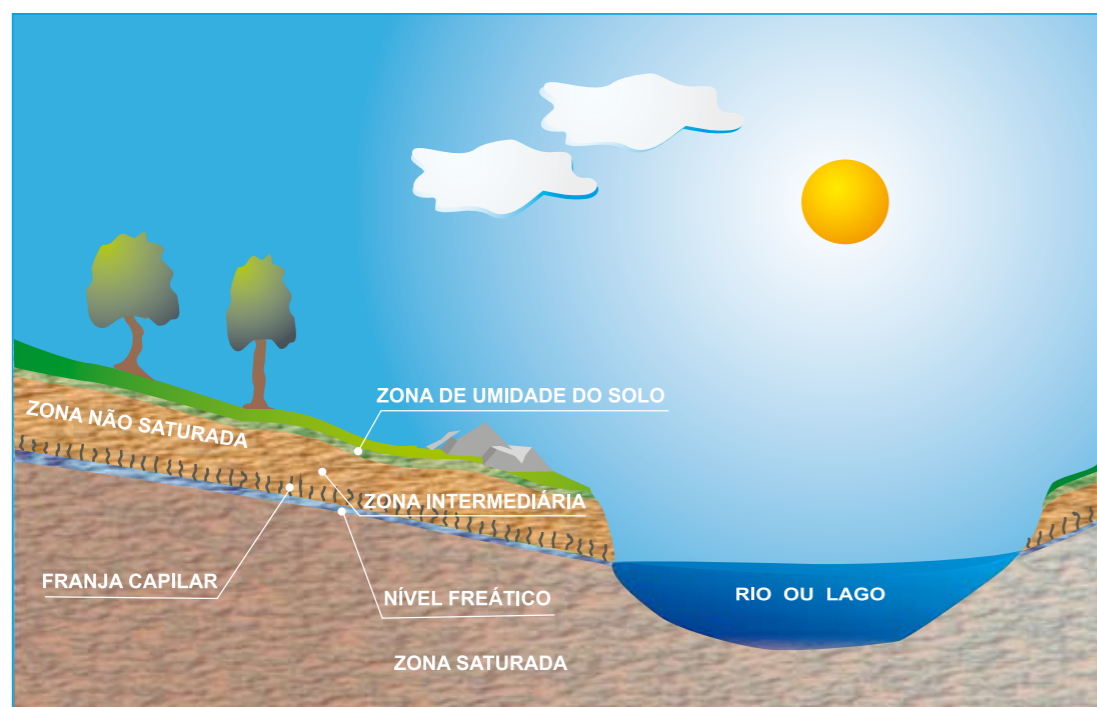


FIGURA 2.1 – CARACTERIZAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS ZONAS NÃO SATURADA E SATURADA NO SUBSOLO

Zona não saturada: também chamada de zona de aeração ou vadosa, é a parte do solo que está parcialmente preenchida por água. Nessa zona, pequenas quantidades de água distribuem-se uniformemente, sendo que as suas moléculas se aderem às superfícies dos grãos do solo. Nela ocorre o fenômeno da transpiração pelas raízes das plantas, de filtração e de autodepuração da água. Dentro dessa zona encontram-se:

- ▶ Zona de umidade do solo: é a parte mais superficial, onde a perda de água de adesão para a atmosfera é intensa. Em alguns casos, é muito grande a quantidade de sais que se precipitam na superfície do solo após a evaporação dessa água, dando origem a solos salinizados ou a crostas ferruginosas (lateríticas). Essa zona serve de suporte fundamental da biomassa vegetal natural ou cultivada da Terra e da interface atmosfera/litosfera.
- ▶ Zona intermediária: região compreendida entre a zona de umidade do solo e da franja capilar, com umidade menor do que nesta última e maior do que a da zona superficial do solo. Em áreas onde o nível freático está próximo da superfície, a zona intermediária pode não existir, pois a franja capilar atinge a superfície do solo. São brejos e alagadiços, onde há uma intensa evaporação da água subterrânea.
- ▶ Franja de capilaridade: é a região mais próxima ao nível da água do lençol freático, onde a umidade é maior devido à presença da zona saturada logo abaixo.

Zona saturada: é a região abaixo da zona não saturada onde os poros ou fraturas da rocha estão totalmente preenchidos por água. As águas atingem essa zona por gravidade, por meio dos poros ou fraturas até alcançar uma profundidade limite, onde as rochas estão tão saturadas que a água não pode penetrar mais. Para que haja infiltração até a zona saturada, é necessário primeiro satisfazer as necessidades da força de adesão na zona não saturada. Nessa zona a água corresponde ao excedente de água da zona não saturada que se move em velocidades muito lentas (cm/dia), formando o manancial subterrâneo propriamente dito. Uma parcela dessa água irá desaguar na superfície dos terrenos, formando as fontes, olhos de água. A outra parcela desse fluxo subterrâneo forma o caudal basal que deságua nos rios, perenizando-os durante os períodos de estiagem, com uma contribuição multianual média da ordem de 13.000 km³/ano (PEIXOTO E OORT, 1990 citados por REBOUÇAS, 1996), ou desagua diretamente nos lagos e oceanos.

A superfície que separa a zona saturada da zona de aeração é chamada de nível hidrostático ou nível freático, ou seja, esse nível corresponde ao topo da zona saturada (IGM, 2001). Dependendo das características climatológicas da região ou do volume de precipitação e escoamento da água, esse nível pode permanecer permanentemente a grandes profundidades, ou se aproximar da superfície horizontal do terreno, originando as zonas encharcadas ou pantanosas, ou convertendo-se em mananciais (nascentes) quando se aproxima da superfície mediante um corte no terreno.

1.1 Ocorrência e volume das águas subterrâneas

Assim como a distribuição das águas superficiais é muito variável, a das águas subterrâneas também é, uma vez que elas se inter-relacionam no ciclo hidrológico e dependem das condições climatológicas. Entretanto, as águas doces subterrâneas são aproximadamente 100 vezes mais abundantes (10.360.230 km³) do que as águas superficiais dos rios e lagos (92.168 km³). Embora elas encontrem-se armazenadas nos poros e fissuras milimétricas das rochas, as águas subterrâneas ocorrem em grandes extensões, gerando grandes volumes, aproximadamente, na ordem de 23,4 milhões de km³, distribuídas em uma área aproximada de 134,8 milhões de km² (SHIKLOMANOV, 1998), constituindo-se em importantes reservas de água doce. Cerca de 13 milhões de km³ das águas subterrâneas constituem-se em águas salgadas.

Alguns especialistas indicam que a quantidade de água subterrânea pode chegar até 60 milhões de km³, mas a sua ocorrência em grandes profundidades pode impossibilitar seu uso. Por essa razão, a quantidade passível de ser captada estaria a menos de 4.000 metros de profundidade, compreendendo cerca de 8 e 10 milhões de km³ (CEPIS, 2000), que, segundo Rebouças et al. (2002), estaria assim distribuída: 65.000 km³ constituindo a umidade do solo; 4,2 milhões de km³ desde a zona não saturada até 750 m de profundidade, e 5,3 milhões de km³ de 750 m até 4.000 m de profundidade, constituindo o manancial subterrâneo.

Além disso, a quantidade de água capaz de ser armazenada pelas rochas e pelos materiais não consolidados em geral depende da porosidade dessas rochas, que pode ser de

até 45% (IGM, 2001), da comunicação desses poros entre si ou da quantidade e tamanho das aberturas de fraturas existentes.

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km³ (112 trilhões de m³) e a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 2.400 km³/ano (REBOUÇAS, 1988 citado em MMA, 2003). Nem todas as formações geológicas possuem características hidrodinâmicas que possibilitem a extração econômica de água subterrânea para atendimento de médias e grandes vazões pontuais. As vazões já obtidas por poços variam, no Brasil, desde menos de 1 m³/h até mais de 1.000 m³/h (FUNDAJ, 2003).

Na Argentina, a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 128 km³/ano; no Paraguai, de 41 km³/ano; e no Uruguai, de 23 km³/ano (FAO, 2000).

1.2 Qualidade das águas subterrâneas

Durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração dela por meio de uma série de processos físico-químicos (troca iônica, decaimento radioativo, remoção de sólidos em suspensão, neutralização de pH em meio poroso, entre outros) e bacteriológicos (eliminação de micro-organismos devido à ausência de nutrientes e oxigênio que os viabilizem) que agindo sobre a água, modificam as suas características adquiridas anteriormente, tornando-a particularmente mais adequada ao consumo humano (SILVA, 2003).

Sendo assim, a composição química da água subterrânea é o resultado combinado da composição da água que adentra o solo e da evolução química influenciada diretamente pelas litologias atravessadas, sendo que o teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue no seu movimento (SMA, 2003).

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios (WREGE, 1997):

- ▶ são filtradas e purificadas naturalmente por meio da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios;
- ▶ apresentam grande proteção contra agentes poluidores;
- ▶ sofrem menor influência nas variações climáticas, mantendo a temperatura constante;
- ▶ têm maior quantidade de reservas;
- ▶ não ocupam espaço em superfície;
- ▶ São passíveis de extração perto do local de uso;
- ▶ a sua captação não ocupa área superficial;
- ▶ necessitam de custos menores como fonte de água;

- ▶ o uso do recurso aumenta a reserva e melhora a sua qualidade;
- ▶ possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade.

1.3 Uso das águas subterrâneas

Segundo Leal (1999), a exploração de água subterrânea está condicionada a fatores quantitativos, qualitativos e econômicos:

- ▶ Quantidade: intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento dos terrenos. Os aquíferos têm diferentes taxas de recarga, alguns deles se recuperam lentamente e em outros a recuperação é mais regular.
- ▶ Qualidade: influenciada pela composição das rochas e condições climáticas e de renovação das águas.
- ▶ Econômico: depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento.

Contudo, o aproveitamento das águas subterrâneas data de tempos antigos e sua evolução tem acompanhado a própria evolução da humanidade, sendo que o seu crescente uso se deve ao melhoramento das técnicas de construção de poços e dos métodos de bombeamento, permitindo a extração de água em volumes e profundidades cada vez maiores e possibilitando o suprimento de água a cidades, indústrias, projetos de irrigação, etc.

A relação, em termos de demanda quanto ao uso, varia entre os países, e nestes, de região para região, constituindo o abastecimento público, de modo geral, a maior demanda individual (PROASNE, 2003).

Até pouco tempo, as questões referentes ao uso e à qualidade das águas subterrâneas ganhavam menos atenção do que aquelas relativas às águas superficiais, particularmente em algumas regiões em desenvolvimento, e os dados sobre as reservas e a circulação de águas subterrâneas não são ainda suficientemente conhecidos. Na Europa, no entanto, tem-se dado muita atenção à qualidade de águas subterrâneas, porque muitos assentamentos dependem de tais recursos para seu abastecimento de água (PNUMA, 2004).

Segundo Leal (1999), praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades. Países como Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia e Suíça atendem de 70 a 90% da demanda para o abastecimento público (OECD, 1989 citado por REBOUÇAS et al., 2002). Outros utilizam a água subterrânea no atendimento total (Dinamarca, Arábia Saudita, Malta) ou apenas como suplementação do abastecimento público e de atividades como irrigação, produção de energia, turismo, indústria, etc. (PIMENTEL, 1999). Na Austrália, 60% do país depende totalmente do manancial subterrâneo e em mais de 20% o seu uso é preponderante (HARBERMEHL, 1985 citado por REBOUÇAS et al., 2002). A cidade do

México atende cerca de 80% da demanda dos quase 20 milhões de habitantes (GARDUÑO e ARREGUIN-CORTES, 1994 citados por REBOUÇAS et al., 2002).

A UNESCO estimava, em 1992, que mais de 50% da população mundial poderia estar sendo abastecida pelo manancial subterrâneo (REBOUÇAS et al., 2002).

Em 2000, cerca de 2 bilhões de pessoas, aproximadamente um terço da população mundial, dependiam do armazenamento de águas subterrâneas e extraíam, anualmente, em torno de 20% (600-700 km³) da água do planeta (PNUD et al., 2000 citados em PNUMA, 2004). Muitos habitantes de áreas rurais já dependiam e ainda dependem totalmente das águas subterrâneas.

Regiões áridas e semiáridas (Nordeste do Brasil e a Austrália), e certas ilhas, têm a água subterrânea como o único recurso hídrico disponível para uso humano. Até regiões desérticas, como a Líbia, têm a demanda de água em cidades e na irrigação atendida por poços tubulares perfurados em pleno deserto do Saara.

Estima-se em 300 milhões o número de poços perfurados no mundo nas três últimas décadas (UNESCO, 1992 citado por REBOUÇAS et al., 2002), 100 milhões dos quais nos Estados Unidos, onde são perfurados cerca de 400 mil poços por ano, com uma extração de mais de 120 bilhões de m³/ano, atendendo mais de 70% do abastecimento público e das indústrias.

Na África do Norte, China, Índia, Estados Unidos e Arábia Saudita, cerca de 160 bilhões de toneladas de água são retiradas por ano e não se renovam. Essa água daria para produzir comida suficiente para 480 milhões de pessoas por ano (RODRIGUES, 2000).

A expansão das terras agrícolas vem provocando também o uso intensivo das águas subterrâneas, além do uso habitual das fontes superficiais. Existem diversos exemplos no mundo de esgotamento de aquíferos por sobre-exploração para uso em irrigação (CEPIS, 2000). Avalia-se que existam no mundo 270 milhões de hectares irrigados com água subterrânea, 13 milhões desses nos Estados Unidos e 31 milhões na Índia (PROASNE, 2003).

Vários núcleos urbanos no Brasil abastecem-se de água subterrânea de forma exclusiva ou complementar, constituindo o recurso mais importante de água doce e desempenhando importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país. Mesmo em casos de elevado teor salino, como nas áreas de ocorrência dos sistemas aquíferos fissurados do semiárido nordestino, as águas subterrâneas constituem, não raro, a única fonte de suprimento permanente (LEAL, 1999). Indústrias, propriedades rurais, escolas, hospitais e outros estabelecimentos utilizam, com frequência, água de poços profundos. As águas subterrâneas são utilizadas para diversos fins como irrigação, indústria e lazer, mas o maior volume de água ainda é, todavia, destinado ao abastecimento público.

Importantes capitais e cidades brasileiras dependem integral ou parcialmente da água subterrânea para abastecimento, como, por exemplo: Manaus (AM), Belém (PA), Fortaleza (CE), Natal (RN), Região Metropolitana do Recife (PE), Maceió (AL), Barreiras (BA) e Ribeirão Preto (São Paulo) (MMA, 2003). No Estado de São Paulo, dos 645 municípios, 462 (71,6%)

são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 (47,7%) são municípios totalmente abastecidos por esse recurso hídrico (ANA, 2007).

A água subterrânea participa, também, do abastecimento de comunidades rurais do semiárido nordestino e é amplamente utilizada na irrigação em Mossoró (RN), no Oeste da Bahia e na região de Irecê (BA), (ANA, 2007). No Maranhão, mais de 70% das cidades são abastecidas por águas subterrâneas e em São Paulo e no Piauí esse percentual alcança 80% (MMA, 2003).

As águas subterrâneas termais estimulam o turismo em cidades como Caldas Novas, em Goiás, Araxá, São Lourenço e Poços de Caldas, em Minas Gerais. Além disso, atualmente, a água mineral é amplamente usada pelas populações dos centros urbanos, por sua qualidade (MMA, 2003).

Segundo o Censo de 2000 (IBGE, 2003), aproximadamente 61% da população brasileira é abastecida, para fins domésticos, com água subterrânea, sendo que 6% se autoabastece das águas de poços rasos, 12% de nascentes ou fontes e 43% de poços profundos.

O número de poços tubulares em operação no Brasil, em 2003, estava estimado, em cerca de 300.000, com um número anual de perfurações de aproximadamente 10.000 (MMA, 2003), o que pode ser considerado irrisório diante das necessidades de água potável das populações e se comparado com outros países. Segundo Zoby e Matos (2002), citados em ANA (2007), estimava-se em cerca de 400.000 poços no país. Os estados com maior número de poços perfurados são: São Paulo (40.000), Bahia, Rio Grande do Sul, Ceará e Piauí (LEAL, 1999). Na Região Metropolitana de São Paulo, o número de poços em operação seria de 11.000 (MARTINS NETTO et al., 2004 citados em ANA, 2007).

No ano de 2008, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) operava 872 poços em 528 localidades, com uma produção de 120.441.555 m³/ano, beneficiando 1.796.349 de paranaenses com água subterrânea. Do Aquífero Serra Geral são extraídos um volume de cerca de 72 milhões de m³/ano (equivalente a 60% do volume total), de 469 poços em 281 localidades, abastecendo 1.099.650 de paranaenses (João Horácio PEREIRA, gerente da USHG - Unidade de Serviços de Hidrogeologia, 2009, comunicação pessoal, em pesquisa no Banco de Dados da SIA-SANEPAR/USHG, abril de 2009).

2 Aquíferos

Um aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas. Outro conceito refere-se a aquífero como sendo, somente, o material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor da água aí armazenada. Assim, uma litologia só será aquífera se, além de ter seus poros saturados (cheios) de água, permitir a fácil transmissão da água armazenada.

Um aquífero pode ter extensão de poucos quilômetros quadrados a milhares de quilômetros quadrados, ou pode, também, apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros (REBOUÇAS et al., 2002). Etimologicamente, aquífero significa: *aqui* = água; *fero* = transfere; ou do grego, suporte de água (HEINEN et al., 2003).

Muitos aquíferos, em diferentes regiões do planeta, destacam-se pela sua extensão, utilização ou transnacionalidade (tabela 2.1). Em um recente levantamento, a UNECE (Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa) constatou que existem mais de 100 aquíferos transnacionais no continente europeu (ALMASSY e BUZAS, 1999 citados em UNESCO, 2001).

TABELA 2.1 - IMPORTANTES AQUÍFEROS DO MUNDO

NOME	LOCALIZAÇÃO	EXTENSÃO (km ²)
Arenito Núbia	Líbia, Egito, Chade, Sudão	2.175.838
Grande Bacia Artesiana	Austrália	1.700.000
Guarani	Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai	1.200.000
Serra Geral	Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai	1.100.000
Solimões*	Estado do Acre e parte oeste do Estado do Amazonas (Brasil)	457.664
Ogallala	EUA (Dakota do Sul – Wyoming – Nebraska – Colorado – Kansas – Novo México – Oklahoma – Texas)	453.000
Bacia Murray	Austrália	297.000
Kalahari/Karoo	Namíbia, Botsuana, África do Sul	135.000
Digital waterway vechte	Alemanha, Holanda	3.770
Praded	República Checa e Polônia	3.300
Slovak-Karst-Aggtelek	República Eslováquia e Hungria	-

FONTE: UNESCO (2001), *ANA (2007)

2.1 Tipos de aquíferos

A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Essa litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares); vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcáreas), determinando os diferentes tipos de aquíferos.

Quanto à porosidade, existem três tipos de aquíferos (figura 2.2):

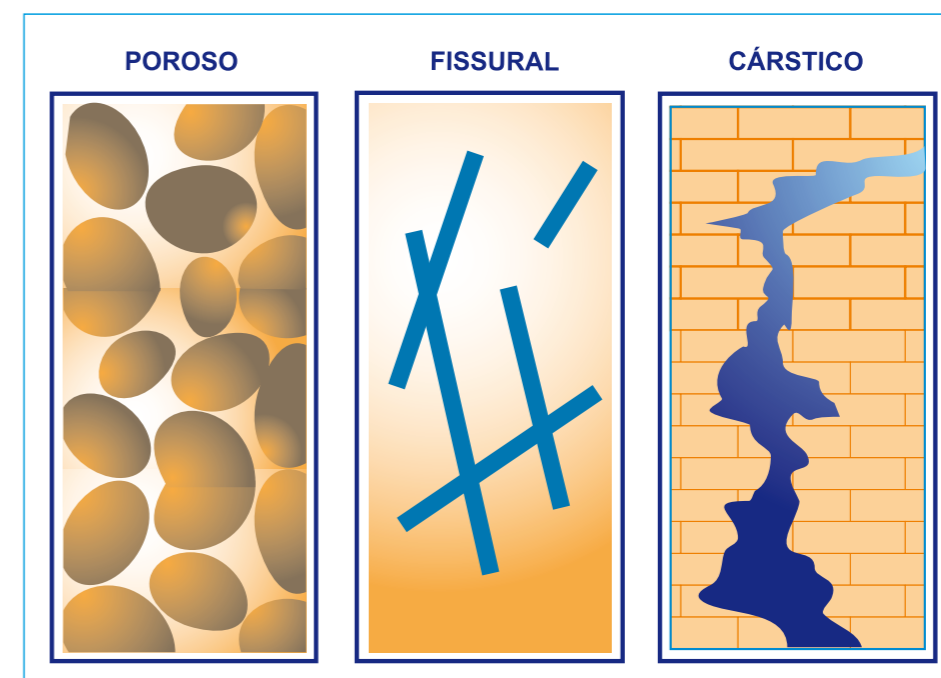


FIGURA 2.2 – TIPOS DE AQUÍFERO QUANTO À POROSIDADE

- ▶ **Aquífero poroso ou sedimentar** – é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existentes. Essa propriedade é conhecida como isotropia.
- ▶ **Aquífero fraturado ou fissural** – formado por rochas ígneas, metamórficas ou

crystalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. Ex.: basalto, granitos, gabros, filões de quartzo, etc. (SMA, 2003). A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde existir fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras.

- ▶ **Aquífero cárstico (Karst)** – formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore.

Quanto à pressão da água, os aquíferos podem ser de três tipos (figura 2.3):

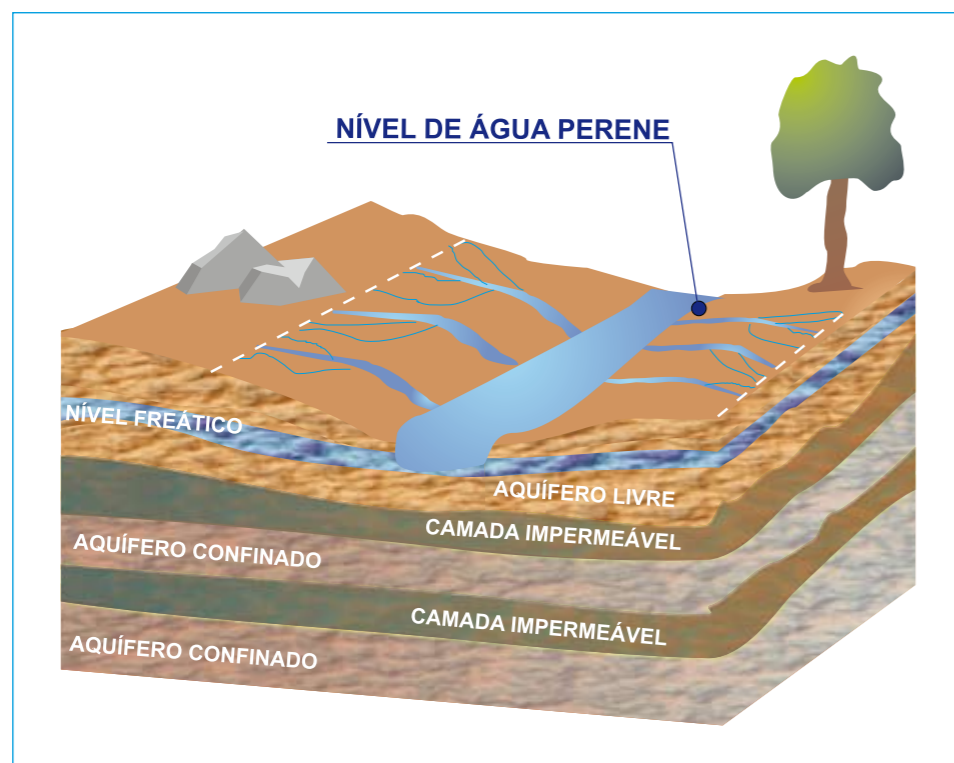


FIGURA 2.3 – TIPOS DE AQUÍFERO QUANTO À PRESSÃO
 FONTE: Adaptado de IGM (2001)

- ▶ **Aquífero livre ou freático** – é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta. Em aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação.

- ▶ **Aquífero confinado ou artesiano** – é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água suba no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas. Nesses aquíferos, a água não pode fluir livremente para baixo e para cima e diz-se que também está confinada. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares).

- ▶ **Aquífero semiconfinado** – é aquele que se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si. O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semiconfinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes. Em certas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semiconfinadas subjacentes, ou vice-versa. Zonas de fraturas ou falhas geológicas poderão, também, constituir-se em pontos de fuga ou recarga da água da camada confinada.

Em uma perfuração num aquífero confinado, a água subirá acima do teto do aquífero, devido ao alívio de pressão, com a expansão da água, e por compressão do pacote superior provocado pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A água alcançará um equilíbrio em função do nível potenciométrico. Numa perfuração de um aquífero livre, o nível da água não ascende porque corresponde ao nível da água no aquífero, isto é, a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água, neste caso, é também designado como superfície freática (figura 2.4).

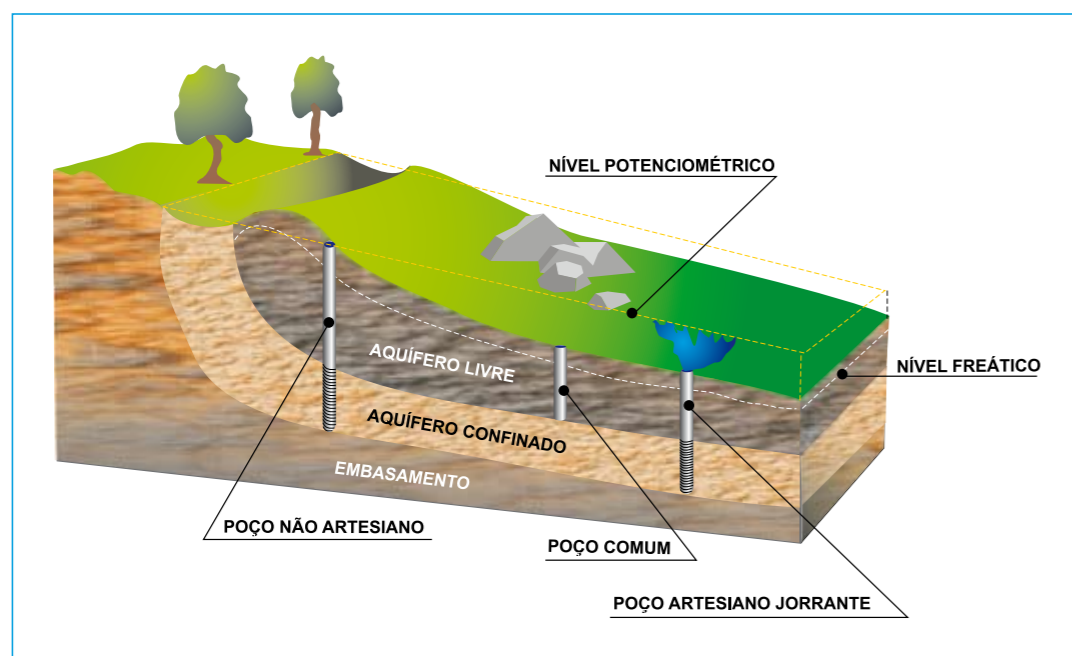


FIGURA 2.4 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO NÍVEL DE PRESSÃO NOS AQUÍFEROS

2.2 Áreas de reabastecimento e descarga do aquífero

Um aquífero apresenta uma reserva permanente de água e uma reserva ativa ou reguladora que é continuamente abastecida através da infiltração da chuva e de outras fontes subterrâneas, ou seja, representa o volume de água renovável que entra anualmente no aquífero. As reservas reguladoras ou ativas correspondem ao escoamento de base dos rios.

A área por onde ocorre o abastecimento do aquífero é chamada zona de recarga, que pode ser direta ou indireta. O escoamento de parte da água do aquífero ocorre na zona de descarga (ANA, 2001).

Zona de recarga direta: é aquela onde as águas da chuva se infiltram diretamente no aquífero, por meio de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas sobrejacentes. Sendo assim, a recarga sempre é direta nos aquíferos livres, ocorrendo em toda a superfície acima do lençol freático. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre somente nos locais onde a formação portadora de água aflora à superfície.

Zona de recarga indireta: são aquelas onde o reabastecimento do aquífero se dá a partir da drenagem (filtração vertical) superficial das águas e do fluxo subterrâneo indireto, ao longo do pacote confinante sobrejacente, nas áreas onde a carga piezométrica favorece os fluxos descendentes.

Zona de descarga: é aquela por onde as águas emergem do sistema, alimentando rios e jorrando com pressão por poços artesianos.

As maiores taxas de recarga ocorrem nas regiões planas, bem arborizadas, e nos aquíferos livres. Nas regiões de relevo acidentado, sem cobertura vegetal, sujeitas a práticas de uso e ocupação que favorecem as enxurradas, a recarga ocorre mais lentamente e de maneira limitada (REBOUÇAS et al., 2002).

Sob condições naturais, apenas uma parcela dessas reservas reguladoras é passível de exploração, constituindo o potencial ou reserva explotável. Em geral, esta parcela é calculada entre 25% e 50% das reservas reguladoras (REBOUÇAS, 1992 citado em ANA, 2001). Esse volume de exploração pode aumentar em função das condições de ocorrência e recarga, bem como dos meios técnicos e financeiros disponíveis, considerando que a soma das extrações com as descargas naturais do aquífero para rios e oceano não pode ser superior à recarga natural do aquífero.

2.3 Funções dos aquíferos

Além de suprir água suficiente para manter os cursos de águas superficiais estáveis (função de produção), os aquíferos também ajudam a evitar seu transbordamento, absorvendo o excesso da água da chuva intensa (função de regularização). Na Ásia tropical, onde a estação quente pode durar até 9 meses e onde as chuvas de monção podem ser bastante intensas, esse duplo serviço hidrológico é crucial (SAMPAT, 2001).

Segundo o mesmo autor, os aquíferos também proporcionam uma forma de armazenar água doce sem muita perda pela evaporação – outro serviço particularmente valioso em regiões quentes, propensas à seca, onde essas perdas podem ser extremamente altas. Na África, por exemplo, em média, um terço da água extraída de reservatórios todo ano perde-se pela evaporação. Os pântanos, habitats importantes para as aves, peixes e outras formas de vida silvestre, nutrem-se, normalmente, de água subterrânea, onde o lençol aflora à superfície em ritmo constante. Onde há muita exaustão de água subterrânea, o resultado é, frequentemente, leitos secos de rios e pântanos ressecados.

Portanto, os aquíferos podem cumprir as seguintes funções (REBOUÇAS et al., 2002):

- ▶ Função de produção: corresponde à sua função mais tradicional de produção de água para o consumo humano, industrial ou irrigação.
- ▶ Função de estocagem e regularização: utilização do aquífero para estocar excedentes de água que ocorrem durante as enchentes dos rios, correspondentes à capacidade máxima das estações de tratamento durante os períodos de demanda baixa, ou referentes ao reuso de efluentes domésticos e/ou industriais.

- ▶ Função de filtro: corresponde à utilização da capacidade filtrante e de depuração biogeoquímica do maciço natural permeável. Para isso são implantados poços a distâncias adequadas de rios perenes, lagoas, lagos ou reservatórios, para extrair água naturalmente clarificada e purificada, reduzindo substancialmente os custos dos processos convencionais de tratamento.
- ▶ Função ambiental: a hidrogeologia evoluiu de enfoque naturalista tradicional (década de 40) para hidráulico quantitativo até a década de 60. A partir daí, desenvolveu-se a hidroquímica, em razão da utilização intensa de insumos químicos nas áreas urbanas, indústrias e nas atividades agrícolas. Na década de 80 surgiu a necessidade de uma abordagem multidisciplinar integrada da geo-hidrologia ambiental.
- ▶ Função transporte: o aquífero é utilizado como um sistema de transporte de água entre zonas de recarga artificial ou natural e áreas de extração excessiva.
- ▶ Função estratégica: a água contida em um aquífero foi acumulada durante muitos anos ou até séculos e é uma reserva estratégica para épocas de pouca ou nenhuma chuva. O gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, inclusive mediante práticas de recarga artificial com excedentes da capacidade das estações de tratamento, os quais ocorrem durante os períodos de menor consumo, com infiltração de águas pluviais e esgotos tratados, originam grandes volumes hídricos. Esses poderão ser bombeados para atender o consumo essencial nos picos sazonais de demanda, nos períodos de escassez relativa e em situações de emergência resultantes de acidentes naturais, como avalanches, enchentes e outros tipos de acidentes que reduzem a capacidade do sistema básico de água da metrópole em questão.
- ▶ Função energética: utilização de água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal, como fonte de energia elétrica ou termal.
- ▶ Função mantenedora: mantém o fluxo de base dos rios (WREGE, 1997).

2.4 Ocorrência de aquíferos nos países da área de abrangência do Guarani

2.4.1 Ocorrências na Argentina

De acordo com Mercosur (2001), a Província Hidrogeológica Pantanal-Chaco-Pampeana está representada, na porção chaquenha, por uma combinação de aquíferos livres e confinados com vazões preferencialmente baixas e má qualidade das águas, geralmente com alta salinidade no norte argentino; e por aquíferos muito rasos, originados de antigos

meandros e paleocanais irregulares, de caráter livre a semiconfinado, com baixas vazões no Chaco Oriental.

A porção Pampeana é de grande extensão, desenvolvendo-se desde o sul da região chaquenha, englobando também parte da Mesopotâmia argentina, com uma grande diversidade de tipos de aquíferos e qualidades químicas das águas. O setor noroeste da Província de Corrientes, próxima de Entre Ríos, apresenta um aquífero de tipo arenoso de grande potencialidade. As capacidades específicas podem alcançar até 15 m³/h, com sólidos totais dissolvidos que não ultrapassam os 400 mg/L, com áreas em que os rendimentos superam 500 m³/h. Em direção ao leste, adquire importância a exploração de aquíferos em sedimentos pampeanos da Formação Puelches (areias), que constitui o melhor aquífero da região, estendendo-se até a Bacia do Salado na Província de Buenos Aires, sendo as águas do tipo químico bicarbonatadas-sódicas e bicarbonatadas-cálcicas. O centro da Província de Buenos Aires mostra a Bacia do Salado com aquíferos de rendimento muito baixo e má qualidade, enquanto que em direção ao sudeste a exploração no Pampeano melhora sensivelmente, predominando o tipo químico bicarbonatado.

A região do centro-oeste Pampeano abrange parte das Províncias de São Luís, Córdoba, La Pampa e Buenos Aires e caracteriza-se pela presença de depósitos de água de boa qualidade, inclusos em sedimentos de origem eólica e limitados por água salgada. Em muitos casos, apresenta contaminação natural por arsênico e flúor, estendendo-se por toda a região em direção ao norte.

A parte argentina da Província Hidrogeológica Andina Vertente apresenta aquíferos fraturados e muito localizados, nascendo em forma de mananciais na base dos afloramentos de arenitos. Os principais reservatórios de água subterrânea se encontram em sedimentos quaternários, onde a recarga do complexo aquífero se produz fundamentalmente pelo aporte de correntes de águas superficiais e subsuperficiais, provenientes das áreas montanhosas. Em direção ao sudeste, a Serra de Guasayan atua como dique para as águas subterrâneas que provêm das montanhas do oeste, originando-se, conseqüentemente, uma pressão hidrostática positiva. A região apresenta setores com sistemas hidrotermais profundos limitados por elementos tectônicos.

A parte argentina da Província Hidrogeológica do Altiplano, localizada no noroeste do país (parte das províncias de Salta, Jujuy e Catamarca), contém aquíferos livres de boa qualidade e produtividade média. Por outro lado, numerosas fontes termais ocorrem como resultado da atividade pós-vulcânica do Terciário e Quaternário.

Existe ainda, além do Guarani (Formação Tacuarembó), um aquífero termal na Bacia Chaco-Paraná, localizada próxima das fronteiras com o Brasil, Paraguai e Uruguai, que é constituído pelas Formações Sachayoj-Charata-Chacabuco, com depósitos de origem glacial-marinha do Permiano, com águas salinas, gradiente térmico de aproximadamente 2°C/100m (20°C/km), águas com temperatura aproximada de 45°C e poços com capacidade de produzir até 450 m³/h. Estima-se que esse aquífero possua seu maior potencial na região centro-oeste da Província de Santa Fé, onde as águas podem alcançar a temperatura de 70°C

a 2.200 m de profundidade. As águas mineralizadas e o potencial termal desse aquífero têm sido explorados com grande sucesso na balneoterapia e centros de recreação, principalmente na região nordeste da Argentina, criando novas oportunidades econômicas para a região (PESCE e JOHANIS, 2000).

2.4.2 Ocorrências no Paraguai

Na Província Hidrogeológica do Paraná, além do Aquífero Guarani (Formação Misiones), existe um caso particular de aquíferos ordovicianos e silurianos (Aquífero Caacupé) a leste de Assunção. As águas são de ótima qualidade. O Aquífero Patiño, de idade cretácea, localizado no Bloco de Assunção, é livre, ainda que em certas ocasiões apresente condições de surgência.

Na Província Pantanal-Chaco-Pampeana, na porção oeste do Chaco, que é uma zona semiárida com precipitações entre 500 e 900 mm/ano, o Paraguai está representado por um aquífero profundo abaixo dos 180-200 m, com vazões de 20m³/h até 80 m³/h. Também se encontram aquíferos em 130-150 m de profundidade, com baixas vazões e águas de boa qualidade.

No norte do Chaco paraguaio, há uma área sem aquíferos e outra de aquíferos rasos com água doce e vazões moderadas, ainda em alguns locais com potenciais desconhecidos. Na porção central do Chaco paraguaio, os aquíferos variam de livres a confinados, com vazões baixas e águas com alta salinidade. No Chaco Oriental paraguaio, igualmente ao argentino, geralmente a água doce é explorada a partir de aquíferos rasos, de caráter livre a semiconfinado, com baixas vazões.

Na região Pampeana em Ñeembucú (sul do Paraguai), há um aquífero de tipo arenoso, com amplas possibilidades de potencialidade.

Além dos aquíferos citados acima, o Paraguai possui outros aquíferos potenciais que podem contribuir com caudais superiores a 50.000 L/h: Chaco-Yrenda (Terciário-Quaternário) de formação sedimentar e Adrián-Jara e Alto-Paraná, ambos de idade cretácea e formação fraturada (GODOY e PARADES, 1995).

2.4.3 Ocorrências no Uruguai

Os principais aquíferos que apresentam boas condições para sua exploração e qualidade de águas são: Tacuarembó (Guarani), Raigón, Salto e Mercedes. O primeiro, situado na parte norte e noroeste, na Província Hidrogeológica do Paraná, é o mais importante do país em extensão (aproximadamente 58.500 km²), com uma profundidade que supera os 500 m, tornando inviável, economicamente, seu uso para fins de irrigação. O Aquífero Salto, localizado no noroeste do país, é amplamente utilizado para a irrigação de hortaliças (FAO, 2000).

Na Província Hidrogeológica Costeira, os principais aquíferos da zona costeira estão associados a sedimentos quaternários. Existe um grande número de perfurações que os exploram, já que sobre essa zona desenvolve-se uma grande atividade turística, perfurações estas da ordem dos 25 metros de profundidade como média e capacidades específicas médias de 2 m³/h/m. Do ponto de vista hidroquímico, as águas classificam-se como bicarbonatadas-sódicas a cloretadas-sódicas. Em alguns casos, têm-se valores elevados de nitratos, cloretos e em alguns casos, ferro (MERCOSUR, 2001).

Na Bacia de Santa Lúcia, dois aquíferos diferenciam-se pelo nível de importância, estando o primeiro constituído pelas unidades geológicas Mercedes-Asencio (correlata à Formação Bauru no Brasil) e o segundo pela unidade Raigón (MERCOSUR, 2001). O aquífero associado às Formações Mercedes-Asencio ocupa a região centro-sul e noroeste da bacia. Apresenta uma importante heterogeneidade tanto em profundidade como lateralmente, fazendo com que a produção dos poços que extraem água do sistema tenha comportamentos muito distintos. É um aquífero confinado em grande parte da área, com capacidades específicas dos poços de 0,20 m³/h/m até 2 m³/h/m. A profundidade média dos poços varia em torno dos 60 metros, alcançando máximos da ordem dos 120 metros. As águas se classificam como bicarbonatadas-sódicas, apresentando-se em alguns casos com elevados índices de salinidade que a tornam inviável para utilização na irrigação. O aquífero associado à Formação Raigón desenvolve-se no sul do Departamento de São José, apresentando um comportamento de livre a confinado ou semiconfinado. As capacidades específicas estão na ordem de 10 m³/h/m. A profundidade média dos poços está no entorno dos 40 metros. As águas se classificam como bicarbonatadas-cálcicas, não apresentando em geral problemas tanto para o abastecimento público como para a irrigação. Nesse aquífero existe um crescente uso não só na irrigação de hortaliças, frutas e milho, como também no abastecimento da população. O Raigón abastece ainda muitas das pequenas cidades situadas nas proximidades da Região Metropolitana de Montevidéu, além de apresentar um grande potencial de uso para a própria capital (FAO, 2000).

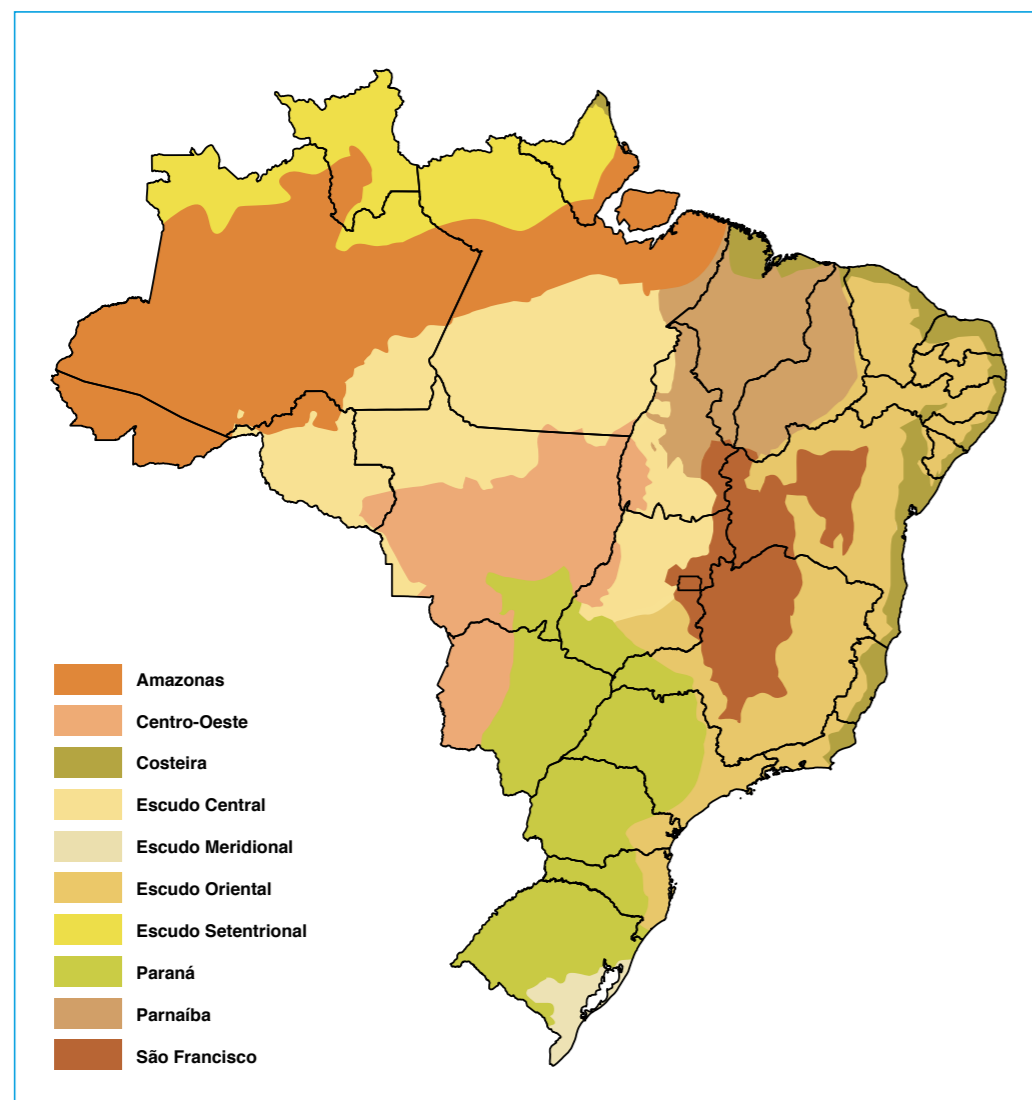
Na Bacia da Lagoa Mirim, localizada ao leste do país, principalmente nos departamentos de Trinta e Três e Rocha, o principal aquífero está constituído por areias das Formações Passo del Puerto e Chuy. Em geral, as perfurações não ultrapassam os 30 metros de profundidade, com capacidades específicas que estão em torno dos 2 m³/h/m. Na região do Chuí (fronteira com o Brasil), o Aquífero Chuy apresenta-se com águas que variam de bicarbonatadas-sódicas a cloretadas-sódicas, e nas áreas próximas da costa há problemas de intrusão marinha (MERCOSUR, 2001).

Na Província Escudo Meridional, a maior expressão está ao sul do Rio Negro, com duas janelas no noroeste do país, conhecidas como: Ilha Cristalina de Rivera e de Aceguá, respectivamente. Aparecem aquíferos locais relacionados com áreas de alteração e/ou fraturamento de permeabilidade baixa a média. Em geral, aquíferos em rochas duras apresentam características de semiconfinado a livre, sendo excepcionais os casos de confinamento. O caso de confinamento se dá nos karst, onde a circulação da água ocorre nas zonas de dissolução da rocha, atuando como confinante. A profundidade média dos poços é da ordem de 40 metros e, salvo casos muito isolados, a capacidade específica é menor ou igual

a 1m³/h. Quanto à hidroquímica, as águas variam de bicarbonatadas-cálcico-magnésicas a bicarbonatadas-sódicas, dependendo da rocha por onde circula (MERCOSUR, 2001).

2.4.4 Ocorrências no Brasil

A combinação das estruturas geológicas com fatores geomorfológicos e climáticos do Brasil resultou na configuração de 10 províncias hidrogeológicas (mapa 2.1), que são regiões com sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água (MMA, 2003). Essas províncias podem estar divididas em subprovíncias.



MAPA 2.1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS DO BRASIL
 FONTE: Adaptado de DNPM/CRPM (1983), citado em MMA (2003)

Sendo assim, as águas subterrâneas no Brasil ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino (escudos) até os depósitos sedimentares

cenozoicos (bacias sedimentares), reunindo-se em três sistemas aquíferos: porosos, fissurados e cársticos, de acordo com a tabela 2.2 (LEAL, 1999). Os escudos são formados por rochas magmáticas e metamórficas e correspondem aos primeiros núcleos de rochas emersas que afloraram desde o início da formação da crosta terrestre. As bacias sedimentares são depressões preenchidas, ao longo do tempo, por detritos ou sedimentos provenientes de áreas próximas ou distantes que normalmente estão dispostas de forma horizontal (COELHO, 1996).

TABELA 2.2 - PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS E SEUS RESPECTIVOS SISTEMAS AQUÍFEROS

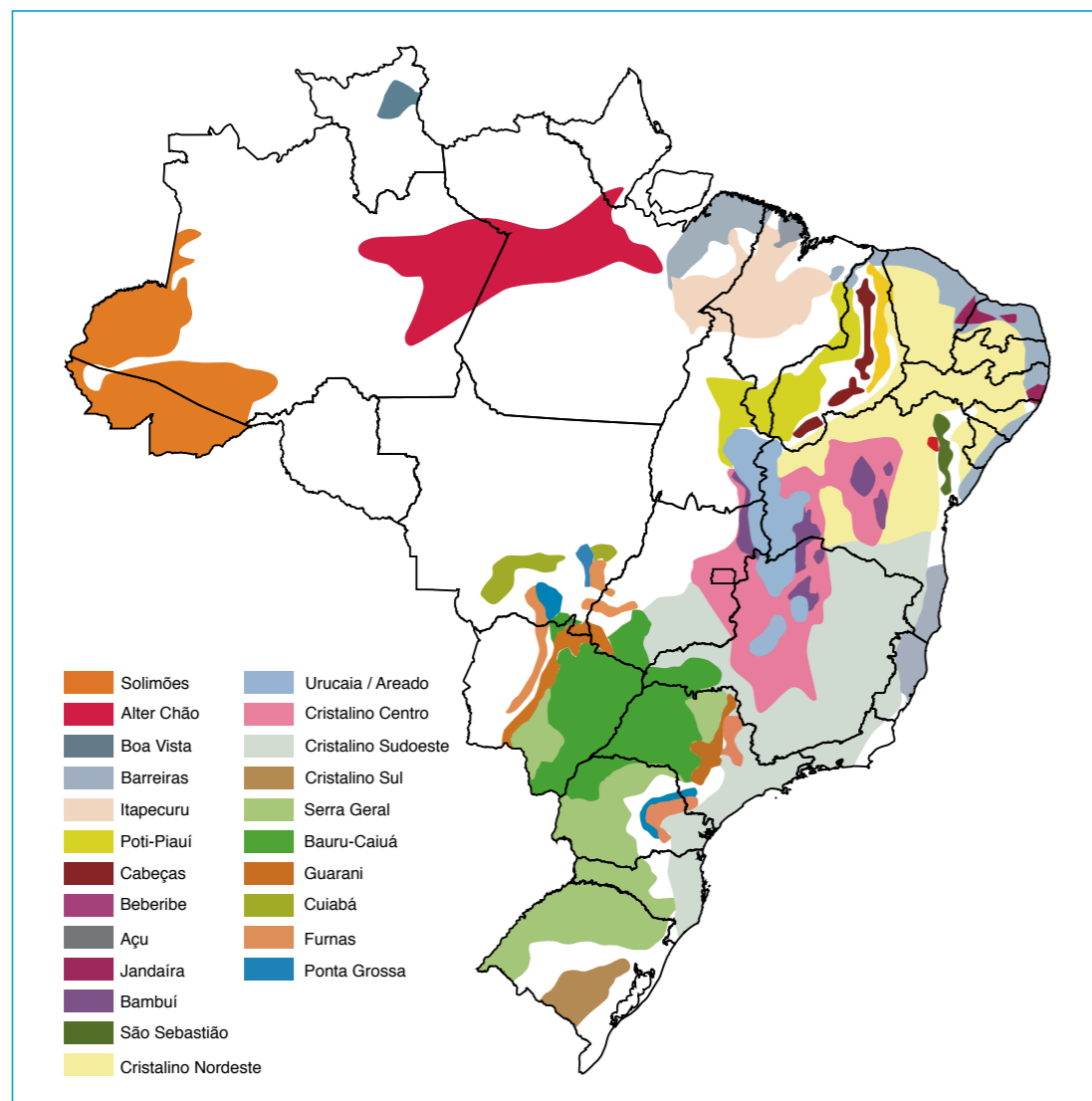
PROVÍNCIA HIDROGEOLÓGICA	DOMÍNIO AQUÍFERO	SISTEMA AQUÍFERO PRINCIPAL	ÁREA (km ²)	VOLUME DE ÁGUA (km ³)	TOTAL (%)
Escudo Oriental	Substrato Aflorante	Zonas fraturadas	600.000	80	0,07
Escudos Setentrional, Central e Meridional	Substrato Alterado	Manto rochas alteradas e/ou fraturas	4.000.000	10.000	8,90
Amazonas	Bacia Sedimentar Amazonas	Arenitos Barreiras e Alter do Chão	1.300.000	32.500	28,94
Parnaíba	Bacia Sedimentar São Luís-Barreirinhas	Arenitos São Luís e Itapecuru	50.000	250	0,22
Parnaíba	Bacia Sedimentar Maranhão	Arenitos Itapecuru, Cordas-Grajaú, Motuca, Poti-Piauí, Cabeças, Serra Grande	700.000	17.500	15,58
Costeira	Bacia Sedimentar Potiguar-Recife	Arenitos Barreiras e Açú-Beberibe, Calcário Jandaíra	23.000	230	0,20
Costeira	Bacia Sedimentar Alagoas-Sergipe	Arenitos Barreiras e Marituba	10.000	100	0,09
Costeira	Bacia Sedimentar Jatobá-Tucano-Recôncavo	Arenitos Marizal, Tacaratu, São Sebastião	56.000	840	0,75
Paraná	Bacia Sedimentar Paraná	Arenitos Baurú-Caiuá, Furnas/Aquidauana, Guarani, Rio Branco e Basaltos Serra Geral	1.000.000	50.400	44,88
	Depósitos diversos	Aluviões, dunas	773.000	411	0,37
TOTAL	-	-	8.512.000	112.311	100

FONTE: Adaptado de Rebouças (1996) e de Zoby e Matos (2002) citados em MMA (2003)

Os sistemas aquíferos brasileiros (mapa 2.2) armazenam os importantes excedentes hídricos, que alimentam uma das mais extensas redes de rios perenes do mundo, com exceção dos rios temporários, que nascem nos domínios das rochas do embasamento geológico subaflorante do semiárido da Região Nordeste (REBOUÇAS et al., 2002) e desempenham, ainda, importante papel socioeconômico, devido à sua potencialidade hídrica (MMA, 2003).

Sistemas porosos: formados por rochas sedimentares que ocupam 42% (3,6 milhões de km²) da área total do país e compreendem cinco províncias hidrogeológicas (bacias sedimentares): Amazonas, Paraná, Parnaíba-Maranhão, Centro-Oeste e Costeira. A estruturação geológica, com alternância de camadas permeáveis e impermeáveis, assegura-lhes condição

de artesianismo. As bacias do Paraná, Amazonas, Parnaíba e a Subprovincia Potiguar-Recife destacam-se pela extensão e potencialidade (ABAS, 2003).



MAPA 2.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS AQUÍFEROS BRASILEIROS
 FONTE: Adaptado de MMA (2003)

- ▶ As províncias Amazonas e Parnaíba posicionam-se como a segunda e terceira do Brasil, respectivamente, em volume de água armazenado. A pouca evaporação da Província Amazonas, motivada pela elevada umidade do ar e a cobertura florestal, contribui também para uma maior absorção das águas superficiais pelas suas rochas.
- ▶ A Província Centro-Oeste compreende as subprovíncias Ilha do Bananal, Alto Xingu, Chapada dos Parecis e Alto Paraguai, localizadas na Região Centro-Oeste do país,

cujos principais aquíferos são o Aquidauana, Parecis e Botucatu.

- ▶ A Província Costeira abrange praticamente toda zona costeira do Brasil, excetuando-se as porções dos estados do Paraná, São Paulo, sul do Rio de Janeiro, norte do Pará, Ilha de Marajó e sudeste do Amapá. Essa província apresenta-se bastante diversificada, por abranger várias bacias sedimentares costeiras, de diferentes constituições e idades geológicas. As suas subprovíncias são: Alagoas/Sergipe; Amapá; Barreirinhas; Ceará/Piauí; Pernambuco; Potiguar; Recôncavo; Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. Os aquíferos mais importantes são os arenitos cretáceos e terciários nas bacias Potiguar, Alagoas e Sergipe. Os sistemas aquíferos Dunas e Barreiras são utilizados para abastecimento humano nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. O Aquífero Açú é intensamente explorado para atender ao abastecimento público, industrial e em projetos de irrigação (fruticultura), na região de Mossoró (RN). O Aquífero Beberibe é explorado na Região Metropolitana do Recife, por meio de 2.000 poços que atendem condomínios residenciais, hospitais e escolas.
- ▶ A Província São Francisco participa desse sistema com a parte granular-arenítica das Formações Urucaia-Areado.
- ▶ A Bacia Sedimentar do Paraná¹ constitui, sem dúvida, a mais importante província hidrogeológica do Brasil, com cerca de 45% das reservas de água subterrânea do território nacional, em função da sua aptidão em armazenar e liberar grandes quantidades de água e pelo fato de se encontrar nas proximidades das regiões relativamente mais povoadas e economicamente mais desenvolvidas do país, além de possuir o maior volume de água doce em subsuperfície, com reserva estimada de 50.400 km³ de água (mapa 2.3).

- Localizada no centro-leste da América do Sul, com uma superfície total de aproximadamente 1.600.000 km² é considerada também a segunda bacia mais importante da América do Sul, constituindo-se em uma fossa muito profunda, que alcança de 6.000 a 7.000 m, ao longo do seu eixo central, que se encontra abaixo do rio Paraná. Está composta por uma impressionante sequência de rochas sedimentares, que vão desde o Paleozoico até o Cenozoico (triássicas-jurássicas-cretáceas) (DELGADO e ANTÓN, 2002). A porção que se encontra em território brasileiro perfaz 1.000.000 km² e tem uma espessura máxima de 6.000 m. As formações paleozoicas apresentam baixa permeabilidade e representam sistemas aquíferos pouco produtivos,

¹ A Bacia Sedimentar do Paraná ocorre nos quatro países da área de abrangência do Aquífero Guarani e é exatamente onde se localiza este Aquífero.

não sendo muito satisfatórios com respeito à qualidade de suas águas. Entre os aquíferos paleozoicos mais importantes encontram-se os arenitos Furnas, Aquiduaana, Itararé, Rio Bonito. Muito mais importantes são as formações triássicas-jurássicas que se encontram separadas por um pacote basáltico de grande extensão lateral, formando um aquífero de dimensões continentais, o Guarani, composto pelas Formações Botucatu e Piramboia, e que constitui um dos principais sistemas aquíferos dela.

- A cobertura de basaltos constitui-se num aquífero fraturado – Formação Serra Geral (com mais de 1.500 m de espessura) – que cobre o Aquífero Guarani, de forma a reduzir sua área de exposição a apenas 10% da área total de distribuição geográfica subsuperficial. A sua extensão original estimada em 4.000.000 km² acha-se reduzida a cerca de 1.000.000 km², aflorando de forma praticamente contínua, sobre cerca de 56% dessa área, e, no restante, sendo recoberta pelos sedimentos dos Grupos Bauru/Caiuá (o primeiro localizado no Estado de São Paulo e o segundo, no Estado do Paraná). A grande importância econômica dos basaltos advém da reconhecida fertilidade dos solos, base de intensa exploração agropecuária característica da região e dos condicionamentos favoráveis (topográficos e geotécnicos) à implantação de hidrelétricas. A sua importância hidrogeológica decorre da relativa explorabilidade das suas zonas aquíferas pelos meios técnicos e financeiros disponíveis. Em termos de potabilidade, as águas dos basaltos revelam uma forte tendência alcalina (pH = 5.5 e 7.5) e mineralização total inferior a 300 mg/L.

- O Grupo Bauru/Caiuá, arenitos que cobrem cerca de 315.000 km² da Formação Serra Geral, com uma espessura média de 100 m, que contêm água geralmente de boa qualidade. Devido ao baixo custo de captação, esses dois aquíferos são intensamente explorados. Em 1999 já existiam mais de 16.000 poços tubulares, 2/3 dos quais captando o Aquífero Bauru (LEAL, 1999), de modo a garantir o abastecimento doméstico e parte das demandas de pequenas indústrias da região. Essa condição advém do fato de ser um sistema livre, local e ocasionalmente freático e é submetido a uma abundante recarga. Contudo, essa condição faz com que esse manancial seja potencialmente muito vulnerável aos agentes poluidores provenientes das atividades agro-industriais, principalmente. As sequências arenosas e argilosas alternadas

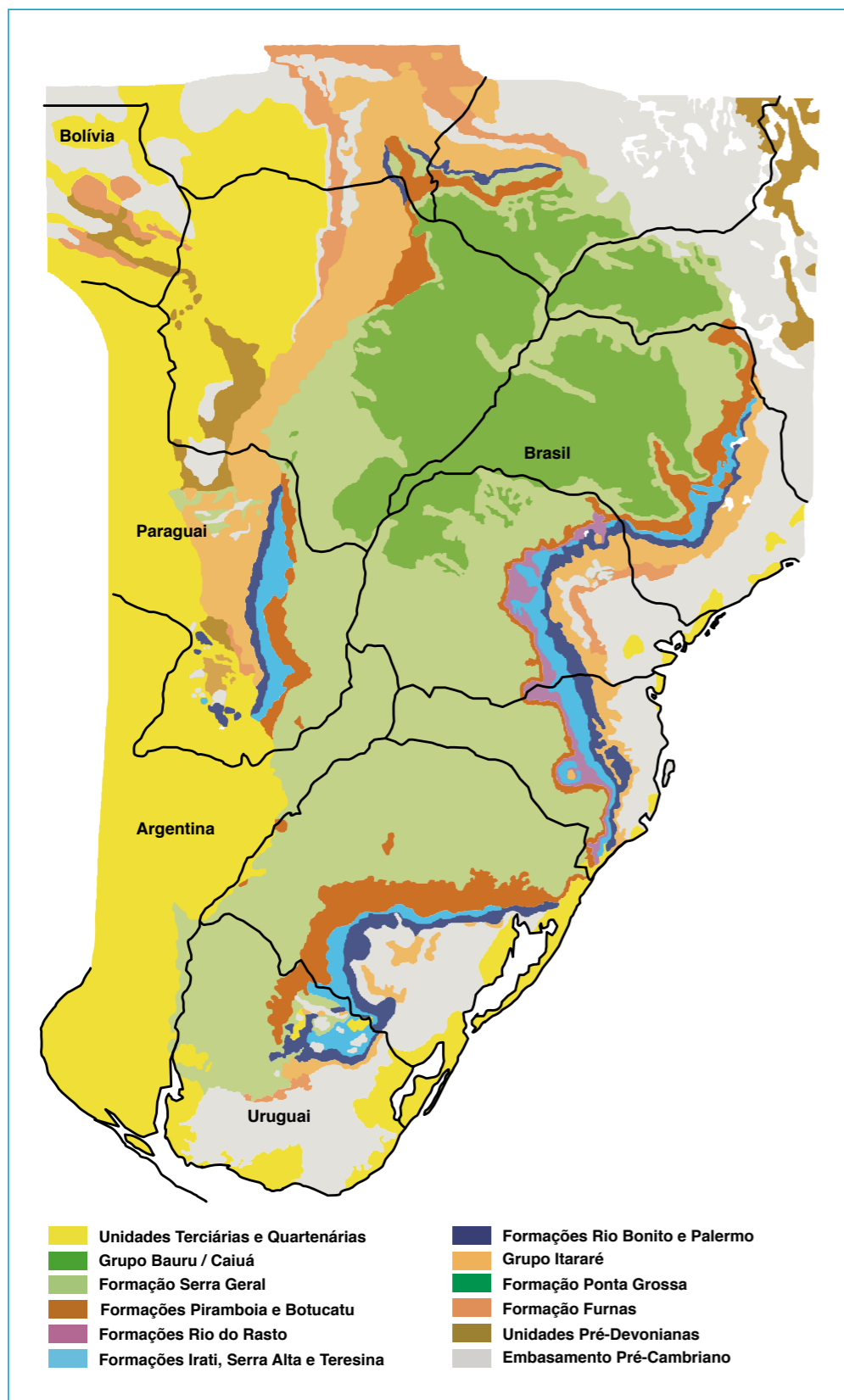
do grupo Bauru no Brasil, depositadas sobre o pacote de rochas vulcânicas (basaltos) durante o cretáceo superior correspondem às Formações Quebrada Monardes na Argentina; Acaray no Paraguai e Mercedes-Ascencio no Uruguai, (ARAÚJO et al., 1999 citados por REBOUÇAS e AMORE, 2002a).

-Outros importantes aquíferos da Província do Paraná são Marizal, São Sebastião (com espessura de mais de 3.000 m) e Ilhas (2.500 m).

Sistemas fraturados ou fissurados: ocupam uma área de cerca de 4,6 milhões de km², correspondente a 53,8% do território nacional. Compreendem as províncias hidrogeológicas dos Escudos Setentrional, Central, Oriental e Meridional. As duas primeiras províncias com rochas fraturadas do embasamento apresentam razoáveis possibilidades hídricas, devido aos altos índices pluviométricos da área. A Província Oriental está dividida em duas subprovíncias (Nordeste e Sudeste). A Província Meridional, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, é de substrato alterado. Os altos índices pluviométricos da região asseguram a perenização dos rios e contribuem para a recarga dos aquíferos, cujas reservas são, em parte, restituídas à rede hidrográfica (MMA, 2003).

Esse sistema apresenta reservas de águas subterrâneas da ordem de 10.080 km³ (REBOUÇAS, 1988 citado por LEAL, 1999). As águas são de boa qualidade química, podendo ocorrer localmente teores de ferro acima do permitido. No domínio do embasamento cristalino subaflorante, como na Província Hidrogeológica Escudo Oriental do Nordeste – onde está localizada a região semiárida – há pequena disponibilidade hídrica, devido à formação de rochas cristalinas. É frequente observar teor elevado de sais nas águas dessa região, o que restringe ou impossibilita seu uso (MMA, 2003). Nesse domínio subaflorante é que nascem os rios temporários.

Sistemas cársticos: formados pelo sistema cárstico-fissural da Província Hidrogeológica do São Francisco e pela Formação Jandaíra (Subprovíncia Potiguar). Inclui os domínios do calcário do Grupo Bambuí com mais de 350.000 km² nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais e a Formação Caatinga. As profundidades do desenvolvimento cárstico são muito variáveis, com média em torno de 150 m. Enquanto o Bambuí pode fornecer vazões superiores a 200 m³/h, o Jandaíra apresenta vazões muito baixas (geralmente inferiores a 3,5 m³/h). Outro importante aquífero cárstico é o Pirabas, com profundidade média de 220 m e vazão de 135 m³/h (MMA, 2003) e a Formação Capiru do Grupo Acungui, com vazão média de 180 m³/h e profundidade média de 60 m.



MAPA 2.3 – MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA BACIA DO PARANÁ
 FONTE: Modificado de Paulipetro (1981)

2.5 Impactos ambientais sobre os aquíferos

O manancial subterrâneo acha-se relativamente melhor protegido dos agentes de contaminação que afetam rapidamente a qualidade das águas dos rios, na medida em que ocorre sob uma zona não saturada (aquífero livre), ou está protegido por uma camada relativamente pouco permeável (aquífero confinado) (REBOUÇAS, 1996). Mesmo assim, está sujeito a impactos ambientais (CPRM, 2002), tais como:

- ▶ Contaminação: a vulnerabilidade de um aquífero refere-se ao seu grau de proteção natural às possíveis ameaças de contaminação potencial e depende das características litológicas e hidrogeológicas dos estratos que o separam da fonte de contaminação (geralmente superficial), e dos gradientes hidráulicos que determinam os fluxos e o transporte das substâncias contaminantes através dos sucessivos estratos e dentro do aquífero (CALCAGNO, 2001). A contaminação ocorre pela ocupação inadequada de uma área que não considera a sua vulnerabilidade, ou seja, a capacidade do solo em degradar as substâncias tóxicas introduzidas no ambiente, principalmente na zona de recarga dos aquíferos. A contaminação pode se dar por fossas sépticas e negras; infiltração de efluentes industriais; fugas da rede de esgoto e galerias de águas pluviais; dejetos orgânicos produzidos por animais (bovinos, suínos, ovinos, aves); vazamentos de postos de serviços; uso indevido de fertilizantes nitrogenados e pesticidas; por aterros sanitários; depósitos de lixo próximos dos poços malconstruído ou abandonados. Entretanto, a mais perigosa é a contaminação provocada por produtos químicos, que acarretam danos muitas vezes irreversíveis, causando enormes prejuízos, à medida que impossibilita o uso das águas subterrâneas em grandes áreas (MUSEU DO UNA, 2003). Geocientistas já estão constatando casos de poluição em aquíferos próximos a lavouras, fábricas e cidades, em todos os continentes. Esses profissionais, todavia, ainda não apresentaram uma mensuração sobre a extensão provável dos danos à água subterrânea. Poucos países pesquisam regularmente a “saúde” de seus aquíferos, uma vez que em grandes extensões de ocorrência seu monitoramento é extremamente dispendioso.
- ▶ Superexploração ou superexploração (sobre-exploração ou sobre-exploração) de aquíferos: é a extração de água subterrânea que ultrapassa os limites de produção das reservas reguladoras ou ativas do aquífero, iniciando um processo de rebaixamento do nível potenciométrico que irá provocar danos ao meio ambiente ou para o próprio recurso. Portanto, a água subterrânea pode ser retirada de forma permanente e em volumes constantes, por muitos anos, desde que esteja condicionada a estudos prévios do volume armazenado no subsolo e das condições climáticas e geológicas de reposição (DRM, 2003).

Danos irreversíveis causados às reservas hídricas subterrâneas pela superexploração do aquífero:

- ▶ **exaustão do aquífero:** é a extração de toda a água do aquífero, comum em todos os continentes e vem causando quedas nos níveis potenciométricos. Verifica-se o rápido esgotamento da água subterrânea no Sul da Ásia, sendo que em algumas zonas da Índia, os lençóis freáticos já se abateram mais de 1 metro por ano, e na planície norte da China, a queda é de 1 a 1,5 metro ao ano;
- ▶ **indução de água contaminada** causada pelo deslocamento da pluma de poluição para locais do aquífero substituindo a água subterrânea exaurida;
- ▶ **subsidiência de solos**, definida como “movimento para baixo ou afundamento do solo causado pela perda de suporte subjacente”, provocando uma compactação diferenciada do terreno, reduzindo permanentemente a sua capacidade de acumulação e levando ao colapso das construções civis. Esse tipo de problema já foi constatado em alguns aquíferos situados na Cidade do México; na Califórnia (EUA); em Beijing e em cerca de 45 outras cidades na China (CEPIS, 2000);
- ▶ **avanço da cunha salina** definida como o avanço da água do mar em subsuperfície sobre a água doce, salinizando o aquífero, em áreas litorâneas e inviabilizando o seu uso (MELO et al., 1996 citados em CPRM, 2002). Sem dúvida, a maioria dos aquíferos costeiros são suscetíveis à intrusão salina, que geralmente resulta da sobre-exploração em poços muito próximos do mar. Algumas das cidades que tiveram problemas de salinização de seus poços são: Bancoque e Madras (Índia), Manila (Filipinas), Jacarta (Indonésia), Lima (Peru); Santa Marta (Colômbia); Coro (Venezuela); Rio Grande e Natal (Brasil), Mar del Plata (Argentina) e em cidades da Flórida e da Califórnia (EUA). No caso de Buenos Aires-La Plata, o problema de salinização se deve ao conteúdo de sais de uma formação costeira (DELGADO e ANTÓN, 2002). O crescimento desordenado do número de poços tem provocado significativos rebaixamentos do nível de água e problemas de intrusão salina no Aquífero Beberibe em que a superexploração induz o movimento de águas salinizadas do aquífero Boa Viagem, no Recife, por drenança vertical (ANA, 2007).

O desenvolvimento de poderosas bombas elétricas e a diesel permitiu essa capacidade de extrair água dos aquíferos com maior rapidez do que é substituída pela chuva, sem considerar, ainda, que os aquíferos têm diferentes taxas de recarga, alguns com recuperação mais lenta que outros (CEPIS, 2000).

Calcula-se que a extração anual dos aquíferos é de 160 bilhões de metros cúbicos ou 160 trilhões de litros toneladas no mundo (POSTEL, 1999 citado por BROWN, 2003).

Em quase todos os continentes, muitos dos principais aquíferos estão sendo exauridos com uma rapidez maior do que sua taxa natural de recarga, principalmente para o uso em irrigação. A mais severa exaustão de água subterrânea ocorre sob extensas áreas dos três principais países produtores de alimentos do mundo - China, Índia, Estados Unidos - e também, no México, Oriente

Médio (principalmente, Irã e Arábia Saudita) e África do Norte, causando um déficit hídrico mundial de cerca de 200 bilhões de metros cúbicos por ano (SAMPAT, 2001), e ameaçando o suprimento mundial de alimentos.

No Brasil, a dominialidade das águas subterrâneas é atribuída aos estados da Federação. E sob estas condições, existem estados, a exemplo de São Paulo e Paraná, cujas leis são apropriadas para disciplinar o uso das águas subterrâneas. Nos estados onde as leis ainda estão em fase de elaboração e mesmo onde não existe fiscalização, os aquíferos são mais susceptíveis à sobre-exploração e à exposição com relação à contaminação antrópica. Outro fator que está provocando o comprometimento da qualidade e disponibilidade hídrica dos aquíferos reside na ocupação inadequada de suas áreas de recarga (CAVALCANTE e SABADIA, 1992 citados em CPRM, 2002).

Nos Estados Unidos, segundo um estudo da BBC Mundo (2003), verificou-se que o maior aquífero desse país, o Ogallala, está empobrecendo a uma taxa de 12 bilhões de metros cúbicos ao ano. A redução total chega a uns 325 bilhões de metros cúbicos, um volume que se iguala ao fluxo anual dos 18 rios do Estado do Colorado e o equivalente a 50% do seu volume em algumas áreas. O Ogallala se estende do Texas a Dakota do Sul, nas Grandes Planícies, e suas águas alimentam um quinto das terras irrigadas dos Estados Unidos. Muitos fazendeiros nas pradarias altas estão abandonando a agricultura irrigada ao se conscientizarem das consequências de um bombeamento excessivo e de que a água não é um recurso inesgotável.

A utilização de poços, fontes e vertentes deve ter a orientação de um profissional habilitado nessa área, de modo que a exploração desses recursos não comprometa o uso futuro deles (seja por uma possível contaminação ou a exploração de uma vazão superior à admissível, por exemplo), e nem exponha a saúde da população abastecida a possíveis doenças de origem ou veiculação hídrica, devido à utilização de mananciais inadequados ou contaminados. Em suma, a compatibilização do uso dessa importante alternativa estratégica de abastecimento com as leis naturais que governam a sua ocorrência e reposição, além de proteger as áreas de recarga de possíveis contaminações, poderá garantir a sua preservação e uso potencial pelas gerações futuras (SILVA, 2003). Além disso, conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial ao estabelecimento de política de gestão das águas subterrâneas (LEAL, 1999).

A integração das águas

3

Aquífero Guarani

1 Origem e denominação

O Aquífero Guarani possui uma área de aproximadamente 1,2 milhão de km² e está inserido na Bacia Geológica Sedimentar do Paraná, abrangendo parte do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (OEA, 2001), constituindo-se numa importante reserva de água subterrânea da América do Sul.

A área de ocorrência do Guarani congrega uma população aproximada de 34,3 milhões de habitantes e caracteriza-se por concentrar as zonas agropecuárias mais importantes de cada país.

As regiões do aquífero compunham um deserto pré-histórico, da era mesozoica, com pouca vida animal e vegetal. Com o passar do tempo, os ventos acumularam grandes depósitos arenosos (na Bacia Sedimentar do Paraná), representando um extenso campo de dunas implantado sobre o continente Gondwanico, que foi recoberto no Eocretáceo por um dos mais volumosos episódios de vulcanismo intracontinental do planeta, cuja lava solidificada originou a Formação Serra Geral, que vem a ser uma capa protetora do Aquífero Guarani (OEA, 2001). Essa lava, quando da sua solidificação, estancou a areia de alta porosidade e condutividade hídrica, permitindo o acúmulo de água nesta unidade litológica (OLIVEIRA FILHO, 2000). Esses mecanismos geológicos é que originaram as rochas (formações geológicas), em cujos poros armazenam-se as águas do Aquífero Guarani.

As formações geológicas sedimentares, que no seu conjunto constituem o atual Aquífero Guarani, foram intensamente estudadas na década de 50, mas somente a partir da década de 70 é que empresas de prospecção de petróleo e captação de água intensificaram suas atividades, permitindo o conhecimento mais detalhado da sua extensão, espessura e volume de água estocada (HYDROLOG, 2003).

O termo Guarani foi sugerido pelo geólogo Danilo Antón em uma conversa informal com os colegas Jorge Montañó Xavier e Ernani Francisco da Rosa Filho, geólogos da Universidad de la Republica do Uruguay e Universidade Federal do Paraná, respectivamente, em algumas reuniões que aconteceram em Montevideú, em 1994, e aprovado com o respaldo

dos quatro países da abrangência do aquífero, em uma reunião em Curitiba (Paraná), em maio de 1996. O objetivo era unificar a nomenclatura das formações geológicas que formam o aquífero e que recebem nomes diferentes nos quatro países (Piramboia/Botucatu, no Brasil; Misiones, no Paraguai; Tacuarembó, na Argentina e Buena Vista/Tacuarembó, no Uruguai) e, simultaneamente, prestar uma homenagem aos índios guaranis que habitavam a área de sua ocorrência, na época do descobrimento da América.

Segundo Antón (comunicação pessoal, 2003), essa nação era composta originalmente por milhares de comunidades, distribuídas em uma extensa área, na região leste da América do Sul. Falavam numerosos dialetos do grande tronco linguístico “tupi-guarani”, alguns dos quais, o guarani do Paraguai, a importante língua geral do Brasil, os dialetos *m’bya* e *caiová*.

Vivendo, sobretudo, de uma agricultura diversificada e produtiva e da pesca, os guaranis sempre se concentravam próximos aos rios. Durante um século, aproximadamente 100.000 guaranis foram acolhidos em territórios jesuíticos, para evitar a escravização por portugueses e espanhóis. O trabalho missionário era realizado em povoados, que ficaram conhecidos como as Reduções Jesuíticas. É no subsolo da região dessas Reduções que se encontra o núcleo da formação do Aquífero Guarani, que assim tem justificado plenamente a sua denominação atual. Portanto, a região de maior concentração demográfica, cultural e histórica guarani, no passado, coincide com a distribuição geográfica do Aquífero Guarani, desde as comunidades meridionais do médio Rio Paraná e do Rio Uruguai até as populações selvagens de Caaguazú e Mato Grosso.

Atualmente, a localização das 300 a 400 comunidades sobreviventes (40.000 a 50.000 habitantes) estende-se de São Paulo até o Uruguai e da costa do Rio Grande do Sul ao Paraguai e Bolívia. Essas comunidades correspondem a cinco subnações principais: *m’bya*, *ava chiripá*, *caiová*, *guarani ñandeva* e *ava guarani*. Os *m’bya* são tradicionalistas e migradores, distribuindo-se em todo o território guarani. Os *ava chiripá* estão concentrados no Paraguai oriental. Os *caiová* também chamados *pa’i tavytera*, habitam o sul do Mato Grosso e nordeste do Paraguai. Os guaranis *ñandeva* estão no Paraguai oriental e no Chaco e os *ava guarani* em Santa Cruz, na Bolívia. A maioria dos guaranis de hoje vive em situação de extrema pobreza, seus direitos nacionais, linguísticos e culturais são desconhecidos, geralmente não têm acesso a títulos em seus territórios e sua expectativa de vida não passa dos 40 anos (Danilo ANTÓN, 2003, comunicação pessoal).

O coletivismo da nação guarani possibilitou a constituição de toda essa nova realidade que marca a história da América, com sua singularidade nos dias atuais. Especialmente neste momento em que estamos vivendo o processo de globalização, vale o exemplo da simbiose perfeita entre povos tão distintos, que foram capazes de construir toda uma utopia, apesar de um pensamento colonizador dominante (Afonso de OLIVEIRA, 2003, comunicação pessoal).

Para Danilo Antón, a designação do nome Guarani ao aquífero, além de uma homenagem, é também uma humilde intenção de começar a resgatar os valores humanos e a rica cultura dessa nação histórica, base ancestral de nossas sociedades crioulas e nacionais.

Este manancial subterrâneo já foi, também, denominado de Aquífero Gigante do Mercosul, por ocorrer nos quatro países participantes do referido acordo comercial.

A sua grandeza, e principalmente a sua localização geográfica envolvendo os quatro países do Mercosul, faz do Guarani um importantíssimo manancial hídrico, que pode ser usado ora para o abastecimento público e, na maior parte da sua área de ocorrência, para a utilização do seu potencial termal, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico da região. É fundamental destacar, nesta edição, que estudos desenvolvidos pela Universidade Federal do Paraná demonstraram que onde o aquífero encontra-se mais confinado, com mais de 500 m de rochas basálticas sobrejacente a ele, as águas *in natura* não possuem características apropriadas ao consumo humano. O uso racional desse aquífero, nas regiões onde as águas são “doces”, deverá ser praticado com o objetivo de preservá-lo para as futuras gerações.

2 Geografia

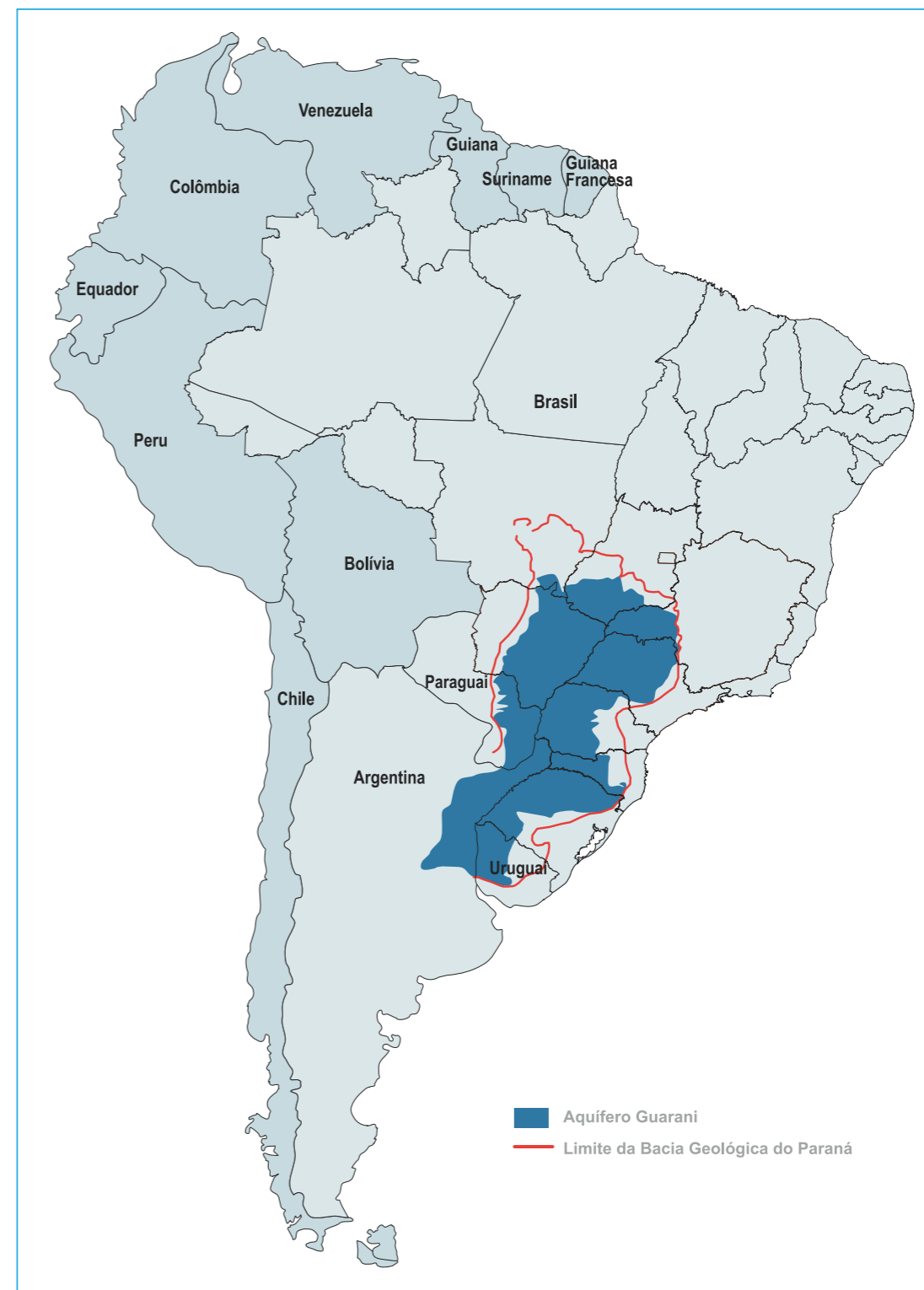
2.1 Localização e área

As unidades litológicas que constituem o Guarani estão localizadas no centro-leste da América do Sul, entre as coordenadas de 12° e 35° de latitude sul e 47° e 65° de longitude oeste, ocupando aproximadamente 75% da superfície da Bacia Sedimentar do Paraná (mapa 3.1), sendo representada por uma depressão alongada segundo a direção norte-sul, no centro-sul do Brasil, estendendo-se ao Paraguai, Uruguai e Argentina. A sua área aproximada é de 1.600.000 km², com cerca de 2.000 km de comprimento no sentido nordeste-sudoeste e 800 km de largura (TALLBACKA, 2001). Essa bacia, coincidente com a calha do rio Paraná, situa-se entre as cotas de 200 e 300 m acima do nível do mar. A borda noroeste encontra-se em altitudes de 400 a 1.000 m e a borda oeste, entre 200 e 400 m. A borda leste, que coincide com as escarpas que limitam o Planalto Central do Paraná, apresenta as altitudes mais elevadas, atingindo até 1.200 m (CHANG, 2001).

Segundo o relatório final do Projeto Aqüífero Guarani (LEBAC/UNESP, 2008), o aqüífero tem sua ocorrência associada às rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná, no Brasil e Paraguai; da Bacia Chacoparanaense, na Argentina, e da Bacia Norte, no Uruguai.

Ainda que ultrapassando fronteiras e estendendo-se pela Região Centro-Oeste do Brasil, alcançando o nordeste da Argentina, o oeste do Paraguai e o norte e o centro-oeste do Uruguai, o Guarani somente pode ser considerado como um sistema hídrico subterrâneo transfronteiriço nas regiões onde existe conexão hidráulica; do contrário, trata-se apenas da mesma unidade litológica que ocorre nas regiões acima mencionadas.

A área do Aqüífero Guarani é de 1.195.500 km² (ARAÚJO et al., 1995), sendo superior à soma dos territórios da França, Espanha e Inglaterra. As zonas de afloramento constituem 12,8% da superfície total do aqüífero, ou seja, 153 mil km², dos quais 67,8% (104 mil km²) localizam-se no Brasil; 30,1%, no Paraguai e 2,1%, no Uruguai, sendo que até o ano de 2001 não haviam sido identificadas áreas de afloramento na Argentina (ANA, 2001).



MAPA 3.1 – LOCALIZAÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI

Desconsiderando-se o testemunho da ocorrência da Formação Botucatu na Chapada dos Guimarães ao norte de Cuiabá, no Estado do Mato Grosso, a área do Aqüífero Guarani é de 1.176.318 km², sendo que as áreas de afloramento somam 147 mil km², constituindo 12,5% da superfície total do aqüífero (tabela 3.1).

TABELA 3.1 – ÁREA E POPULAÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI NOS PAÍSES DE SUA ABRANGÊNCIA

PAÍSES	ÁREA DO GUARANI		ÁREA TOTAL DO PAÍS (km ²)	ÁREA DO PAÍS ONDE OCORRE O AQUÍFERO (%)	ÁREA DE AFLORAMENTO		POPULAÇÃO ESTIMADA	POPULAÇÃO ESTIMADA NA ÁREA DE AFLORAMENTO
	km ²	%			km ²	%		
Brasil	820.618	69,8	8.514.877	9,6	97.142	66,3	28.671.307	9.493.719
Argentina	225.500	19,2	2.780.400	8,1	-	0,0	2.630.312	-
Paraguai	71.700	6,1	406.752	17,6	46.211	31,5	2.393.423	1.627.528
Uruguai	58.500	5,0	175.016	33,4	3.197	2,2	578.698	145.000
Total	1.176.318	100,0	-	-	146.550	100,0	34.273.740	11.266.247

FONTE: Elaborado a partir de Araújo et al., (1995); ANA (2001); INDEC (2001); DGEEC (2002); INE(2002); IBGE (2009)

De acordo com os estudos realizados pelo Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aqüífero Guarani, a sua área total é de 1.087.879km², sendo que as áreas de afloramento somam 124.650 km². Pelo projeto, foram identificadas áreas de afloramento na Argentina, ao sul do aqüífero. Não foram consideradas como áreas de ocorrência do SAG zonas isoladas e sem conexão com o corpo principal, embora inseridas no Mapa Esquemático de 2001, na fase de preparação do Projeto (LEBAC/UNESP, 2008) (tabela 3.2).

TABELA 3.2 – ÁREA DO AQUÍFERO GUARANI NOS PAÍSES DE SUA ABRANGÊNCIA

PAÍSES	ÁREA DO GUARANI		ÁREA TOTAL DO PAÍS (km ²)	ÁREA DO PAÍS ONDE OCORRE O AQUÍFERO (%)	ÁREA DE AFLORAMENTO	
	km ²	%			km ²	%
Brasil	735.917,75	67,6	8.514.877	8,6	79.743,28	64,0
Argentina	228.255,26	21,0	2.780.400	8,2	272,63	0,2
Paraguai	87.535,63	8,0	406.752	21,5	40.013,89	32,1
Uruguai	36.179,51	3,3	175.016	20,7	4.620,63	3,7
Total	1.087.888,15	100,0	-	-	124.650,43	100,0

FONTE: Elaborado a partir de LEBAC/UNESP (2008)

Ainda segundo o relatório do Projeto Aqüífero Guarani, no Brasil, a área total do aqüífero encontra-se assim distribuída: Mato Grosso do Sul – 189.451,38 km²; Rio Grande do Sul – 154.680,82 km²; São Paulo – 142.958,48 km²; Paraná – 119.524,47 km²; Goiás – 39.367,72 km²; Minas Gerais – 38.585,20 km²; Santa Catarina – 44.132,12 km² e Mato Grosso – 7.217,57 km². As áreas de afloramento somam 79.743 km² (LEBAC/UNESP, 2008).

A população atual na área de ocorrência do Aqüífero Guarani está estimada em aproximadamente 34,3 milhões de habitantes. Nas áreas de afloramento, a população é de cerca de 11,3 milhões de pessoas (32,9 % do total), sendo que a maior ocupação populacional nessas áreas é verificada nos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul, no Brasil, e no Departamento de Caaguazú, no Paraguai. No Uruguai, as áreas de afloramento estão localizadas nos departamentos de Rivera e Tacuarembó.

O Brasil é o país com a maior área do Guarani (69,8%), o que equivale a 9,6% da área total do território nacional, seguido pela Argentina, com 19,2%; Paraguai, com 6,1% e Uruguai, com 5,0%, representando a menor área do Guarani, mas que equivale a 33,4% do seu território (gráfico 3.1, mapa 3.2).

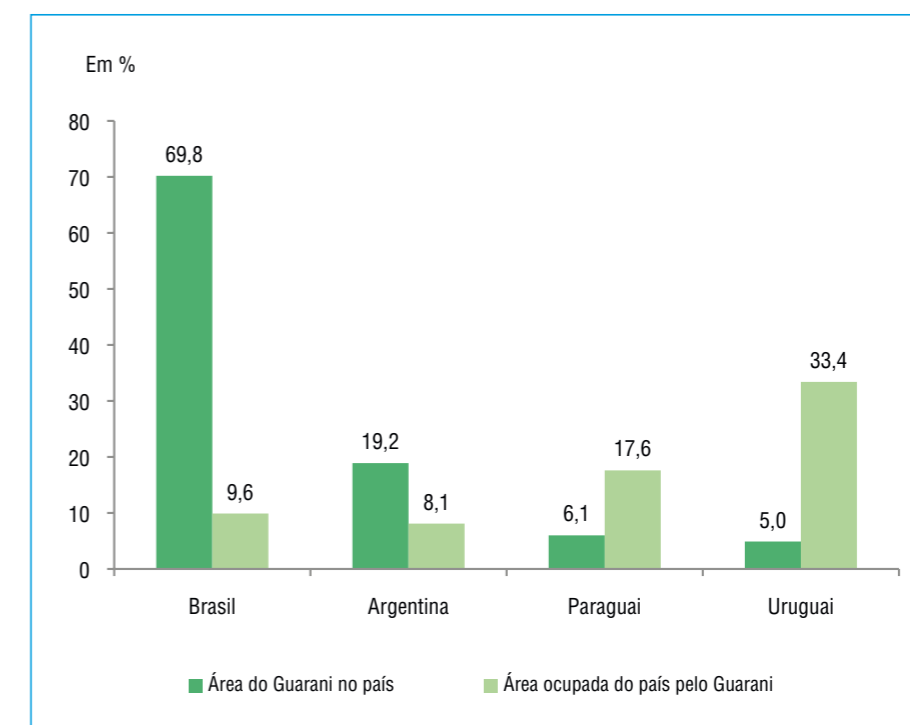
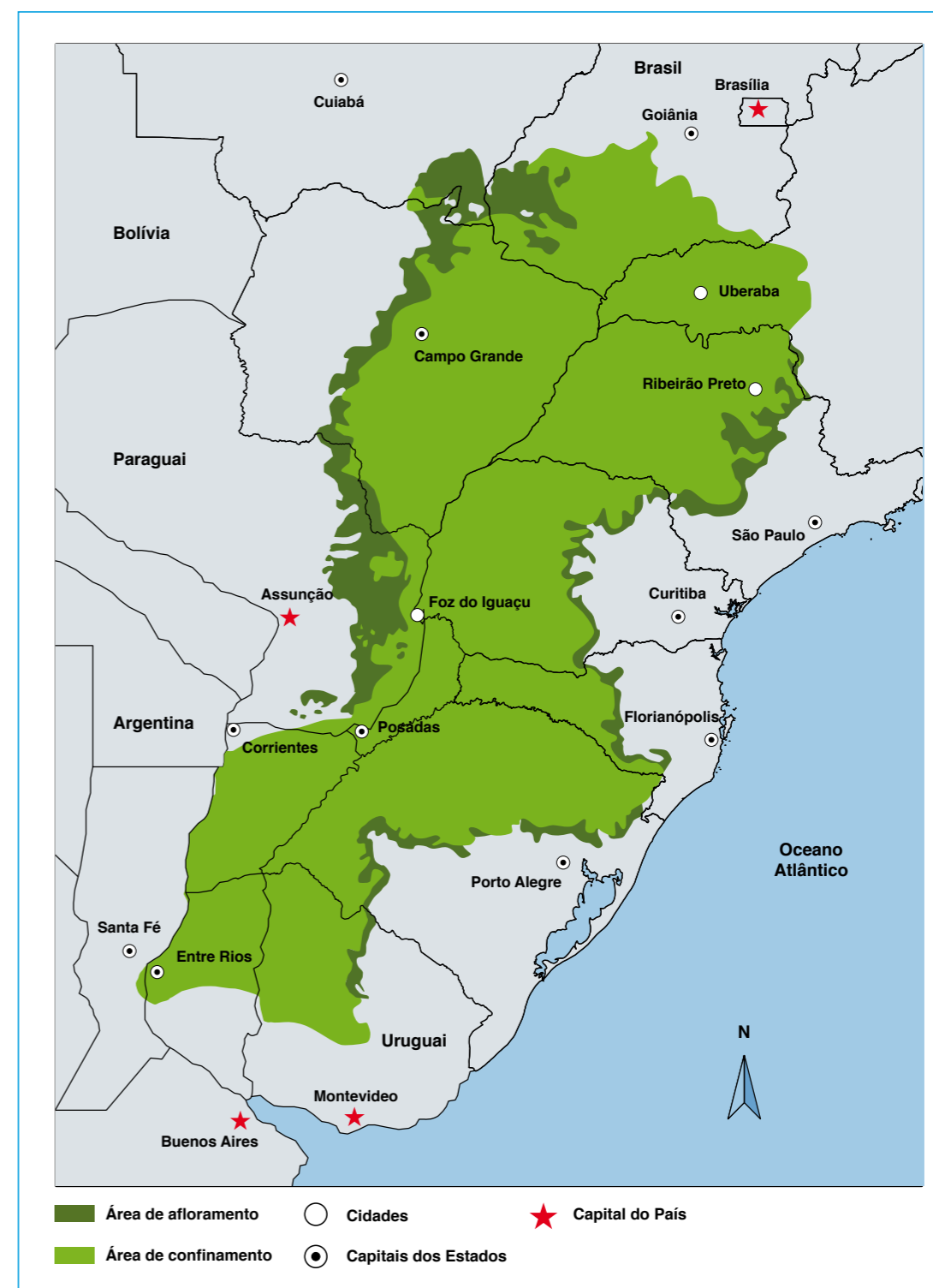


GRÁFICO 3.1 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DA ÁREA DO AQUÍFERO GUARANI
FONTE: Elaborado a partir de Araújo et al. (1995)

A região de ocorrência do Guarani caracteriza-se por terras férteis e solos com altos índices de produtividade, associados principalmente à decomposição das rochas basálticas sobrepostas da Formação Serra Geral, onde são desenvolvidas as culturas de soja, milho, trigo, cevada, sucro-alcooleira, etc., e com excelente potencial de desenvolvimento da pecuária de corte de grande diversidade de raças, além de uma indústria bastante diversificada, destacando-se a automobilística e a de beneficiamento de produtos agropecuários (agroindústria - frigoríficos, laticínios).

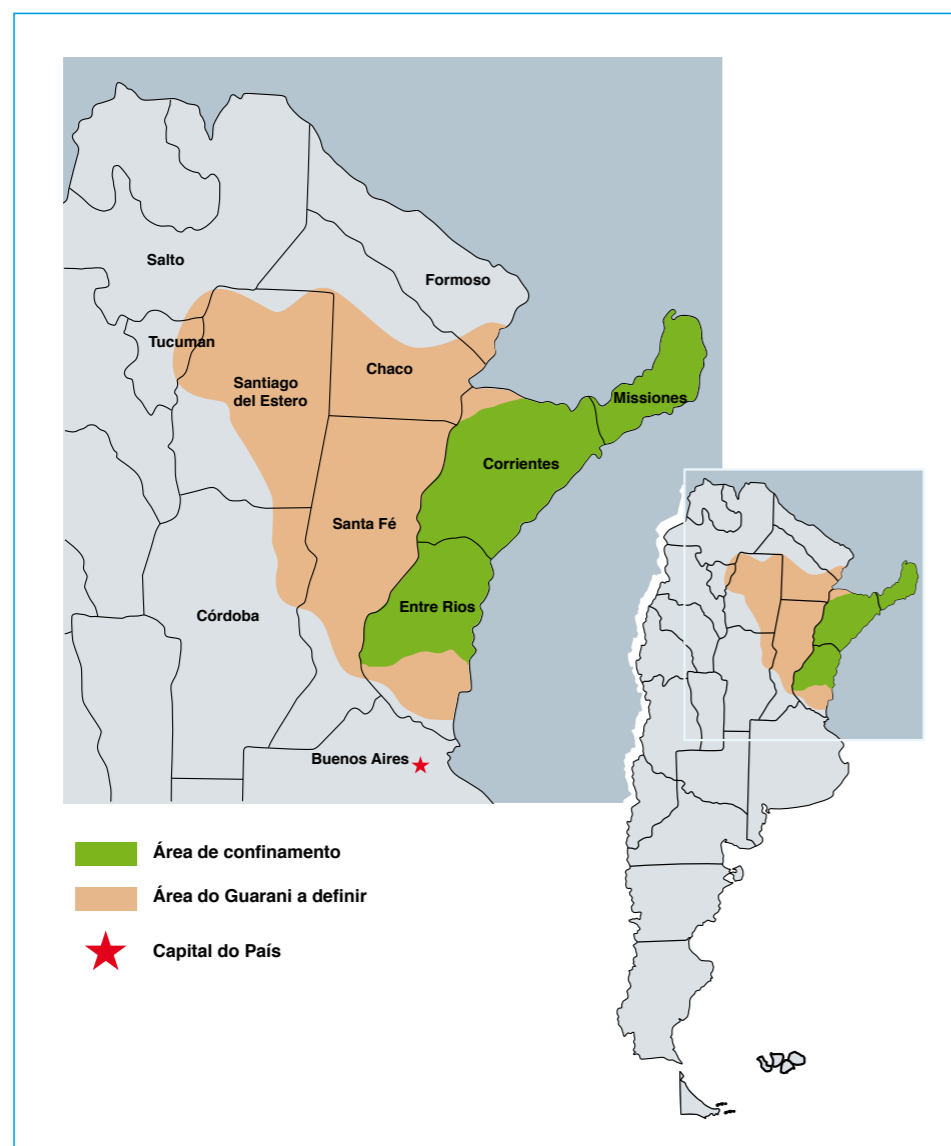
O uso da terra no norte da Bacia Sedimentar do Paraná é caracterizado pelas pastagens, plantações de soja, arroz e café, dentre outras. Na parte central ocorrem as plantações de cereais, frutas, café, açúcar, cana-de-açúcar, tabaco, algodão, erva-mate e arroz, além da exploração de florestas e pastagens de bovinos e ovinos. Por outro lado, o intensivo plantio de cereais, girassóis, milho e linhaça ocorre na parte sul da bacia (APPLEWHITE, 1970 citado por KITTL, 2000).



MAPA 3.2 – MAPA ESQUEMÁTICO DO AQUÍFERO GUARANI
 FONTE: Modificado de CAS/SRH/MMA em ANA (2001)

2.1.1 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guarani na Argentina

Os limites do Guarani não estão completamente definidos nesse país, fundamentalmente em direção oeste. Segundo Montañó et al. (1998), os arenitos do Guarani (denominado nesse país como Tacuarembó) ocupam parte da Bacia Chacoparanaense, dispondo-se no subsolo da Mesopotâmia e proximidades (centro-norte de Santa Fé e leste de Santiago del Estero). No mapa hidrogeológico do Aquífero Guarani, disponibilizado pela ANA, (2001), as províncias de Santa Fé, Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Salta, Tucumán e Córdoba aparecem como áreas de descarga (em regime fissural/poroso) a serem definidas (mapa 3.3).



MAPA 3.3 – MAPA ESQUEMÁTICO DO AQUÍFERO GUARANI NA ARGENTINA
 FONTE: Modificado de CAS/SRH/MMA (2001)

A área do Guarani, na Argentina, é de 225.500 km², o que equivale a 19,2% de área total do aquífero e a apenas 8,1% do território argentino. As províncias onde se localiza o aquífero são Misiones, Corrientes e Entre Ríos. A população que vive sobre a área do Guarani é de aproximadamente 2,6 milhões de habitantes, o equivalente a 7,3% da população total do país.

Segundo o relatório final do Projeto Aquífero Guarani elaborado pelo LEBAC/UNESP, (2008), o limite sul do SAG em território argentino é caracterizado pela escassez de afloramentos, bem como pela quantidade insuficiente de poços que permitam a definição de sua terminação nesta região.

A Argentina é um país tradicionalmente pecuarista, sendo que a atividade econômica da área do Guarani nesse país baseia-se, principalmente, na pecuária e agricultura (milho, trigo, soja, algodão, girassol, cana-de-açúcar, uva, batata, tomate e aveia).

2.1.2 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guarani no Paraguai

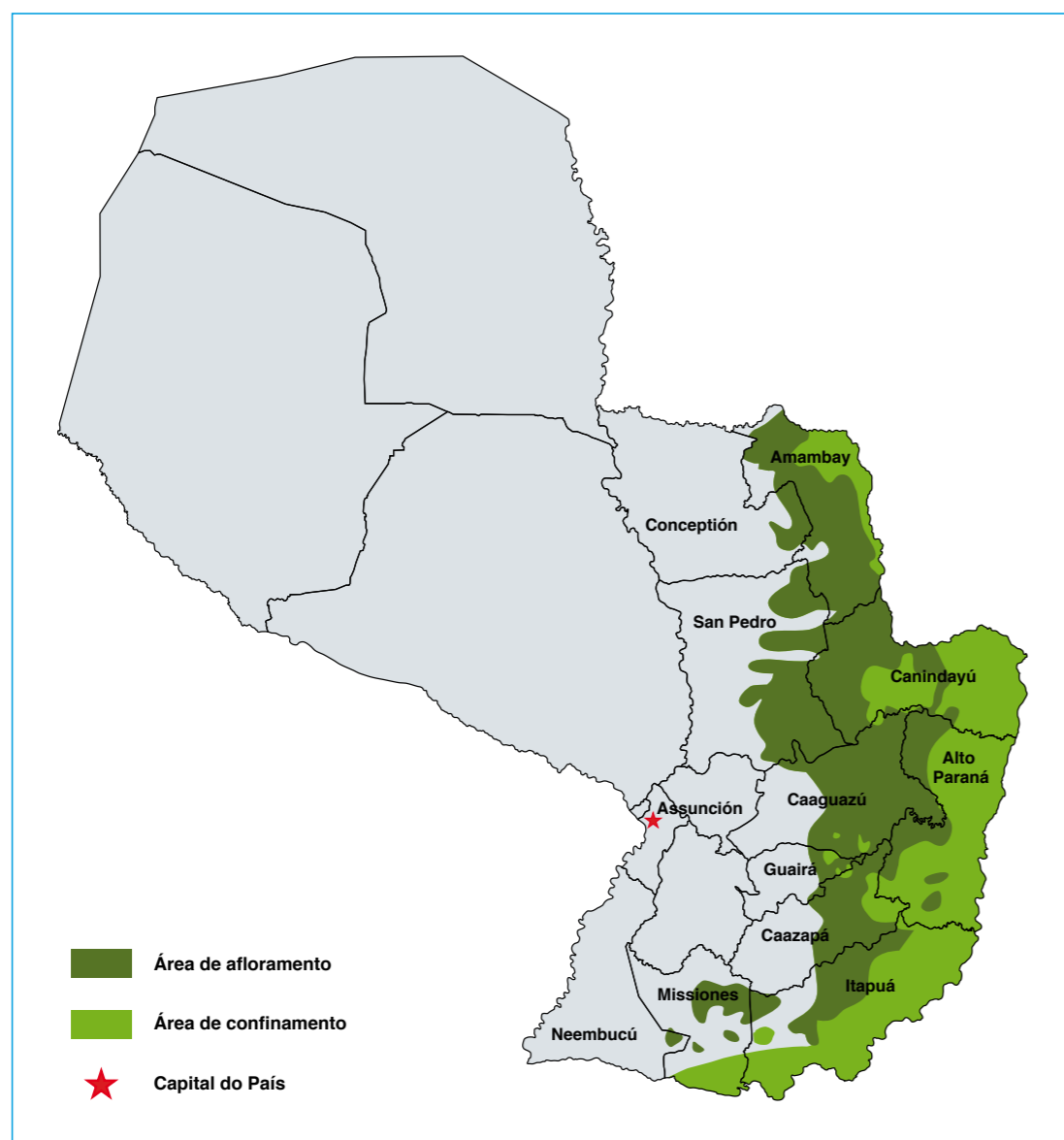
No Paraguai, distinguem-se duas regiões naturais sensivelmente diferentes: a região ocidental ou o Chaco, que compreende 60,9% do território paraguaio e a região oriental, correspondente a 39,1%, que em consequência das diferenças regionais climáticas, de solo, vegetação e recursos hídricos, concentra aproximadamente 97% da população paraguaia (GREGORASCHUK, 2001), justamente onde se localiza o Aquífero Guarani.

O Paraguai tem 17,6% (71.700 km²) da superfície total do seu território ocupado pelos arenitos do Guarani (denominado nesse país como Misiones), o que equivale a 6,1% da área total do aquífero nos quatro países. Os departamentos abrangidos pelo Guarani são Amambay, Concepción, San Pedro, Canindeyú, Alto Paraná, Caaguazú, Caazapá, Guairá, Itapúa, Misiones e Ñeembucú. Os afloramentos ocupam uma área aproximada de 46.211 km² (ANA, 2001), o que equivale a 64,5% da área total do aquífero nesse país, bordejando de forma contínua desde a Cordilheira de Amambay (ao norte) até a cidade de Encarnação, no sul (OEA, 2001) (mapa 3.4).

Os derrames basálticos da Formação Alto Paraná (Serra Geral, no Brasil) que cobrem os arenitos do Guarani possuem uma superfície aproximada de 25.489 km² (ANA, 2001), tendo como limite leste o rio Paraná. Essa situação associada ao importante nível de exploração do aquífero aflorante permite intuir um elevado grau de vulnerabilidade dele (GREGORASCHUK, 2001).

A população da área de abrangência do Guarani é de aproximadamente 2,4 milhões de habitantes (equivalente a 39,1% da população total), sendo que cerca de 1,6 milhão de pessoas vivem sobre os afloramentos.

No Paraguai, a principal atividade desenvolvida na área do Guarani é a agricultura. Na região centro-leste do Paraguai, nos departamentos de Misiones, Caaguazú e Itapúa, desenvolvem-se cultivos intensivos de soja, algodão e café. Tem havido um processo de expansão da fronteira agrícola, habilitando solos florestais que necessitam de fertilização externa para manter a produtividade, provocando erosão dos solos sedimentares (CALCAGNO, 2001). O uso de agroquímicos é muito significativo.



MAPA 3.4 – MAPA ESQUEMÁTICO DO AQUÍFERO GUARANI NO PARAGUAI
 FONTE: Modificado de CAS/SRH/MMA (2001)

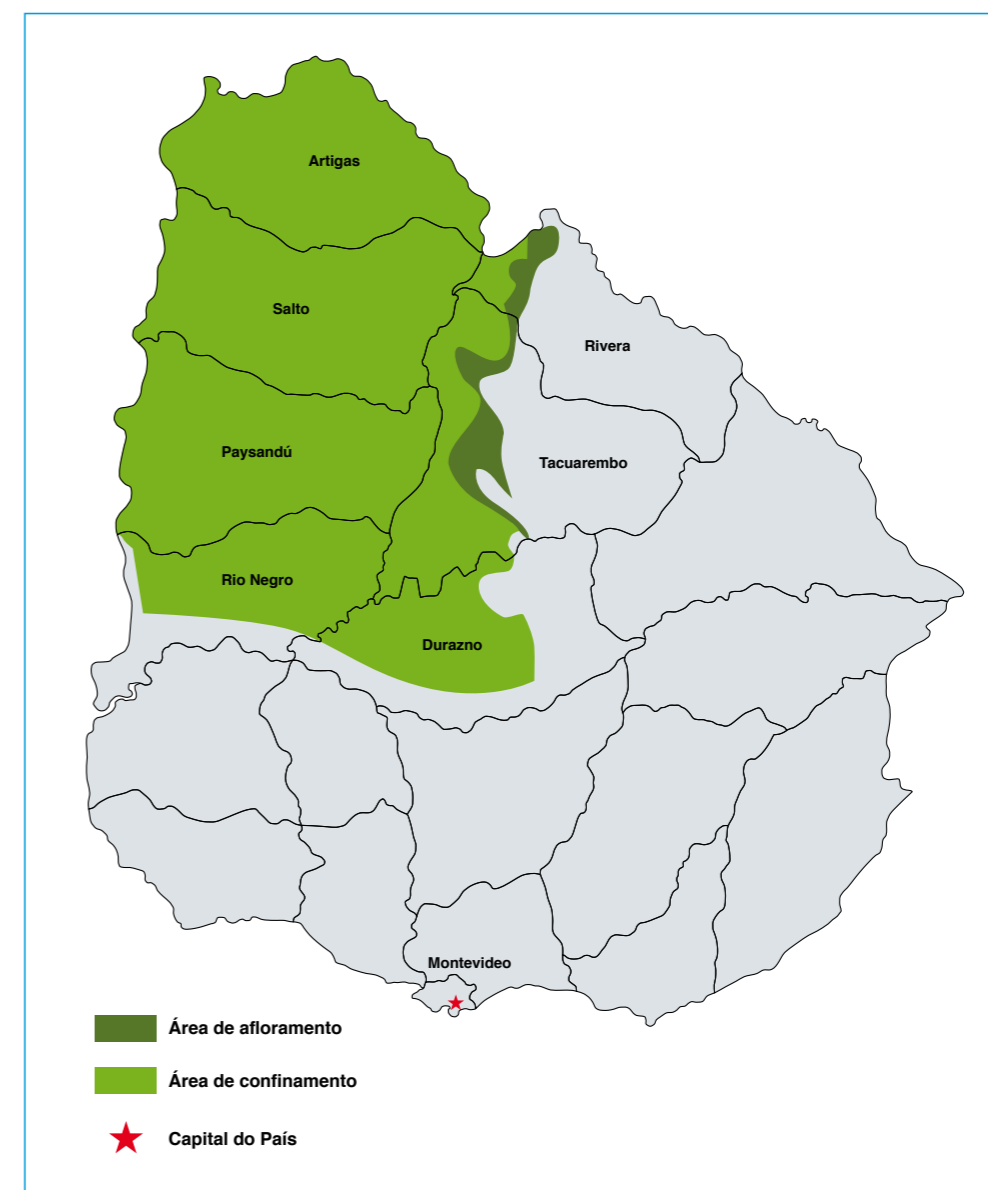
2.1.3 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aquífero Guaraní no Uruguai

No Uruguai, os arenitos do Guaraní (denominados nesse país de Buena Vista/Tacuarembó) ocupam 33,4% da superfície total de seu território, ou seja, 58.500 km², equivalente a 5,0% da área total do aquífero nos quatro países.

O aquífero abrange os departamentos de Artigas, Paysandú, Salto, Rivera, Tacuarembó, Rio Negro e Durazno, com uma população aproximada de 578,7 mil pessoas (equivalente a 17,9% do total) (mapa 3.5). Esses departamentos correspondem à região centro-norte, nordeste

e noroeste do país, entretanto o Aquífero Guaraní aflora em uma faixa que se estende de norte a sul, na parte central dos departamentos de Rivera e Tacuarembó, com uma extensão aproximada de 3.197 km² (ANA, 2001), que corresponde a 5,5% da área total do aquífero em território uruguaio. A população residente na área dos afloramentos totaliza cerca de 145 mil habitantes (Danilo ANTÓN, 2003, comunicação pessoal).

A região de abrangência do Guaraní caracteriza-se pela pecuária de ovinos/bovinos, com a atividade econômica baseada na carne, lã e couro. A fruticultura de clima temperado ou subtropical é uma das principais culturas em Salto e Paysandú, além do turismo termal. Em Rivera e Tacuarembó, destacam-se as plantações florestais. Em Artigas, verifica-se exploração e comercialização de pedras semipreciosas (ametista).



MAPA 3.5 – MAPA ESQUEMÁTICO DO AQUÍFERO GUARANI NO URUGUAI
 FONTE: Modificado de CAS/SRH/MMA (2001)

2.1.4 Localização, área e aspectos socioeconômicos da área de abrangência do Aqüífero Guarani no Brasil

O Brasil tem cerca de 9,6% (820.618 km²) da superfície total do seu território ocupada pelos arenitos do Guarani (denominados nesse país de Rosário do Sul/Piramboia/Botucatu), cuja dimensão em sentido norte-sul chega a 2.000 quilômetros, espalhando-se pelo subsolo de oito estados brasileiros, num total aproximado de dois terços (69,8%) da área do aqüífero. Apenas uma capital, Campo Grande, no Estado do Mato Grosso do Sul, está situada sobre a Formação Serra Geral, sobrejacente ao Aqüífero Guarani. A área de afloramento no Brasil é de aproximadamente 97.142 km² (LEBAC/UNESP, 2008), o que equivale a 11,8% da área total do aqüífero em território nacional (mapa 3.6).

O Mato Grosso do Sul é o estado brasileiro com a maior área do Guarani (26,0%), seguido por Rio Grande do Sul e São Paulo, ambos com cerca de 19%. O estado que contém a menor área é o Mato Grosso (0,9%). Quando se analisa a área do estado ocupada pelo Guarani, o Paraná está em primeiro lugar, com 65,9% do total de sua área, seguido por São Paulo, com 62,8% e Mato Grosso do Sul, com 59,7%. Nos estados de Minas Gerais e Mato Grosso verifica-se os menores percentuais (8,7 e 0,8%, respectivamente) da área total ocupada (tabela 3.3 e gráfico 3.2).

O estado onde está localizada a maior área de afloramento do Guarani em território brasileiro é o Mato Grosso do Sul, com 32,2% (31.299 km²), porém o equivalente a 14,7% da área total do aqüífero no estado. Em seguida, têm-se São Paulo, com 17,9%; Rio Grande do Sul, com 13,8%; Goiás, com 12,6% e Paraná, com 9,3%. Os estados do Mato Grosso, Santa Catarina e Minas Gerais apresentam as menores áreas de afloramento, com 6,4; 6,2 e 1,7%, respectivamente (gráfico 3.3). Cerca de 86% da área do Guarani no Estado do Mato Grosso apresenta-se em área de afloramento.

TABELA 3.3 – ÁREA E POPULAÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI NO BRASIL

ESTADO	ÁREA TOTAL DO ESTADO		ÁREA DO GUARANI NO ESTADO		ÁREA DE AFLOR.	POPULAÇÃO ESTIMADA (2007)			NÚMERO ESTIMADO DE MUNICÍPIOS		
	km ²	km ²	%	%		TOTAL	ÁREA DE CONFIN.	ÁREA DE AFLOR.	TOTAL	ÁREA DE CONFIN.	ÁREA DE AFLOR.
MS	357.125,0	213.200	26,0	59,7	31.299	2.081.631	1.607.347	474.284	71	43	28
RS	281.748,5	157.600	19,2	55,9	13.402	6.452.496	3.462.471	2.990.025	424	321	103
SP	248.209,4	155.800	19,0	62,8	17.376	9.689.808	6.062.322	3.627.486	428	339	89
PR	199.314,9	131.300	16,0	65,9	8.992	5.861.424	4.592.254	1.269.170	324	281	43
GO	340.086,7	55.000	6,7	16,2	12.257	775.878	465.890	309.988	46	36	10
MG	586.528,3	51.300	6,3	8,7	1.634	1.909.257	1.731.948	177.309	56	45	11
SC	95.346,2	49.200	6,0	51,6	5.984	1.844.036	1.255.356	588.680	173	131	42
MT	903.357,9	7.218	0,9	0,8	6.198	56.777	-	56.777	5	-	5
Total	3.011.716,9	820.618	100,0	-	97.142	28.671.307	19.177.588	9.493.719	1.527	1.196	331

FONTE: Elaborado a partir de Araújo et al. (1995); ANA (2001); LEBAC/UNESP (2008); IBGE (2009)
 NOTA: O levantamento dos municípios e respectiva população onde ocorre o Aqüífero Guarani foi realizado pelos autores.

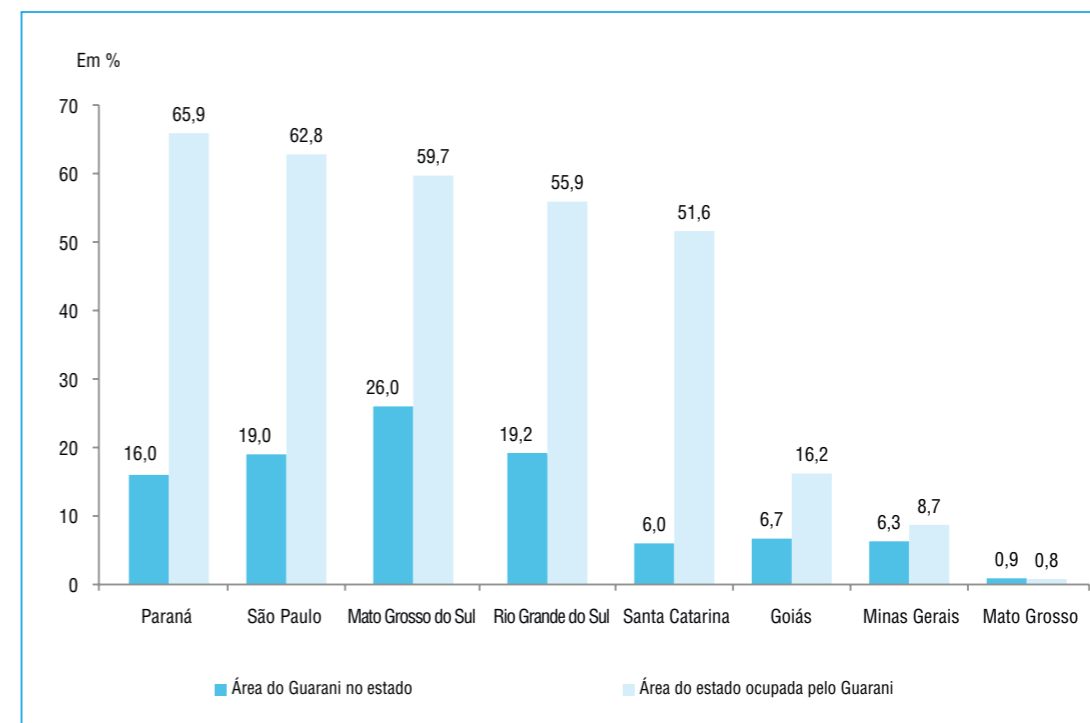


GRÁFICO 3.2 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DA ÁREA DO AQUÍFERO GUARANI NO BRASIL
 FONTE: Elaborado a partir de Araújo et al. (1995)

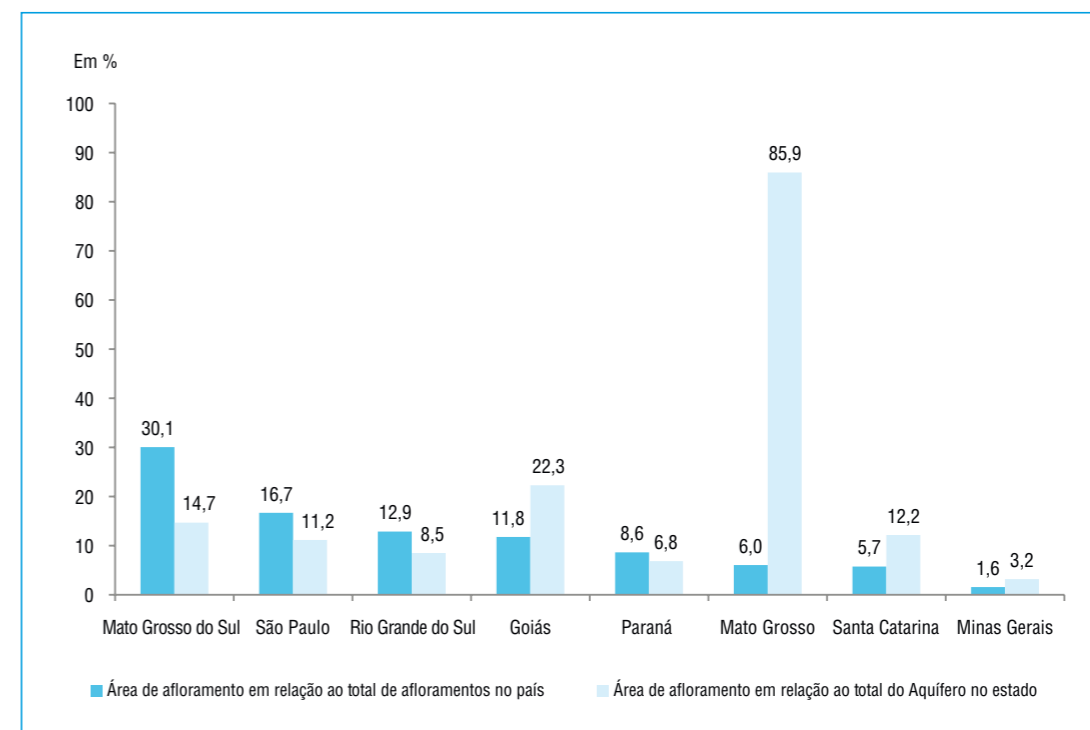
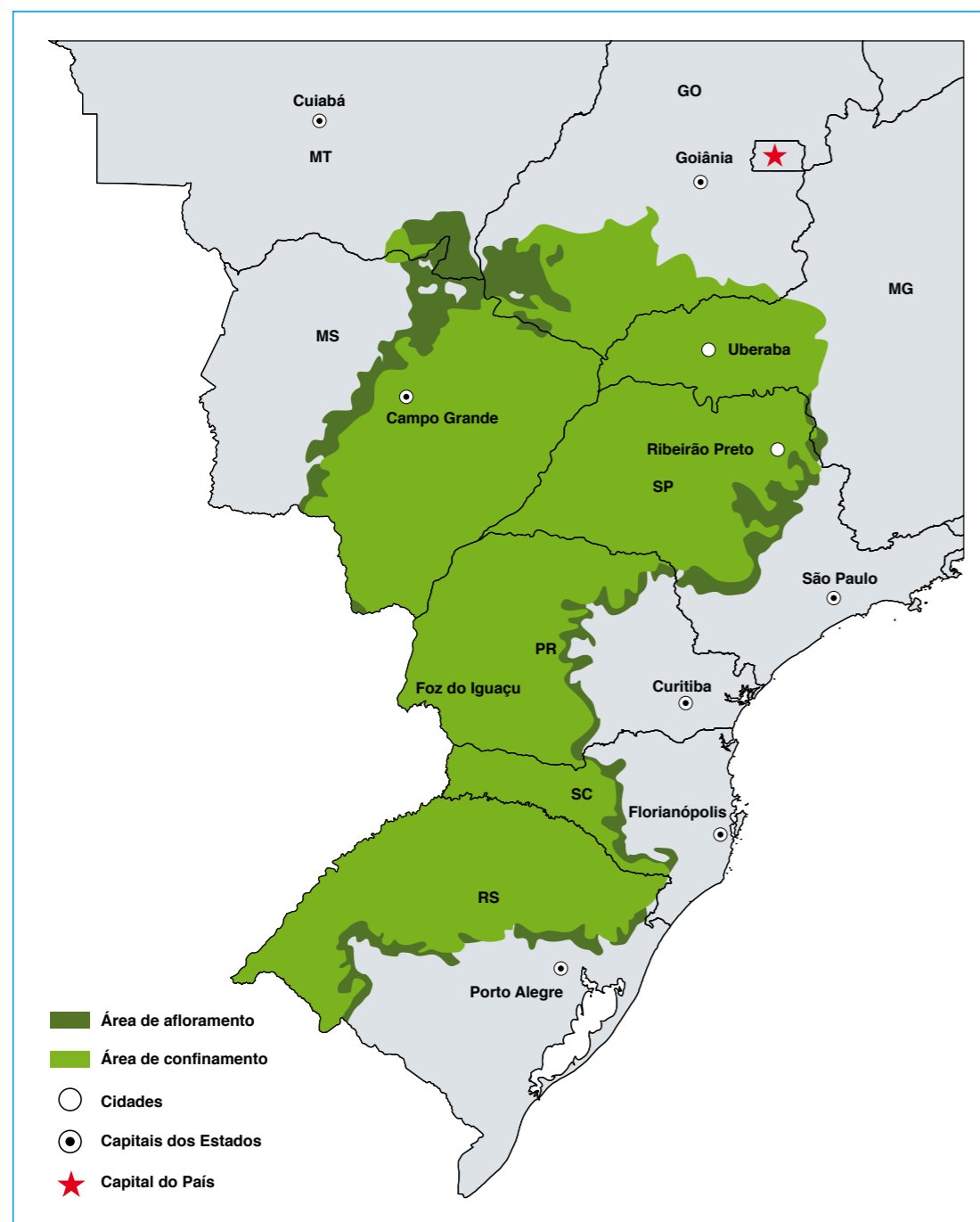


GRÁFICO 3.3 – PARTICIPAÇÃO RELATIVA DA ÁREA DE AFLORAMENTO DO AQUÍFERO GUARANI NO BRASIL
 FONTE: Adaptado de ANA (2001) e LEBAC/UNESP (2008)



MAPA 3.6 – MAPA ESQUEMÁTICO DO AQUÍFERO GUARANI NO BRASIL
 FONTE: Modificado de CAS/SRH/MMA (2001)

A área do Aqüífero Guarani no Brasil congrega uma população aproximada de 28,7 milhões de habitantes, o equivalente a 15,6% da população total do país em 2007, abrangendo 1.527 municípios (27,4% do total de municípios brasileiros). A população na área de afloramento é de aproximadamente 9,5 milhões de habitantes distribuídos em 331 municípios.

O Estado de São Paulo concentra a maior população sobre a área do Guarani, com cerca de 9,7 milhões de habitantes (33,8% do total da população do aquífero em território brasileiro), abrangendo 428 municípios paulistas. Em seguida, vem o Rio Grande do Sul, com 6,5 milhões de habitantes em 424 municípios, e o Paraná, com 5,9 milhões de habitantes em 324 municípios.

Segundo Chang (2001), a área de abrangência do Aqüífero Guarani, em território brasileiro, caracteriza-se por terras férteis, sendo que a produção de bens nos oito estados que fazem parte do aquífero concentra-se na agropecuária. São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná apresentam o setor secundário mais desenvolvido, com significativos parques industriais, principalmente nos grandes municípios. O extrativismo mineral é incipiente em toda a área ocupada pelo Guarani. Além disso, os principais centros de pesquisa e desenvolvimento tecnológico avançado, que atraem os maiores investimentos nacionais e internacionais, focados nas áreas da agropecuária, agroindústria, indústria metalúrgica, mecânica e automobilística, além de áreas vocacionadas para o turismo e de polos de desenvolvimento regional, situam-se igualmente na região do aquífero ou próximo a ele.

O Paraná, que possui 65,9% do seu território sobre o Guarani, caracteriza-se por ser um estado tradicionalmente agrícola, responsável por 23% da produção total de grãos do país. A atividade industrial nesse estado concentra-se principalmente nos grandes municípios, destacando-se a região de Londrina e Maringá. Em Santa Catarina, a larga presença da agroindústria ocorre na região centro-oeste do estado, onde se encontra também um polo de criação avícola e de suínos. No Rio Grande do Sul, cuja atividade principal também se baseia na agropecuária, o município de Caxias do Sul é o de maior destaque no setor industrial.

A região de afloramento do Guarani, no Estado do Mato Grosso do Sul, apresenta uma vocação eminentemente rural, com produção, preferencialmente da soja e a atividade pecuária extensiva. Nas áreas de recarga (afloramento), a principal atividade é a agrícola e pecuária (CALCAGNO, 2001).

No Estado de São Paulo, os municípios de Ribeirão Preto, Araraquara, São Carlos, Bauru e Piracicaba concentram o maior setor industrial da região do Guarani (CHANG, 2001).

Dos estados onde o Guarani está situado, o que consome mais água na atividade industrial é São Paulo. O Rio Grande do Sul é o estado que mais consome água na agricultura, seguido por Minas Gerais, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. Paraná, Goiás e o Mato Grosso utilizam mais água no setor doméstico. Vale salientar que o uso de água na agricultura trata-se principalmente da agricultura irrigada. Isso explica o fato de o Paraná, que é basicamente um estado agrícola, ser aquele que consome menos água no setor da agricultura na Região Sul, pois a sua agricultura é pouco irrigada.

2.2 Zonas climáticas

A área de abrangência do Aquífero Guarani inclui três zonas climáticas devido à sua grande extensão:

- ▶ **Parte norte:** nos estados brasileiros do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e São Paulo prevalece o clima tropical, com uma precipitação média anual entre 1.200 mm e 1.600 mm (UNESCO, 1996 citado por KITTL, 2000). A maior precipitação ocorre durante a estação de verão e primavera. O clima está caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos. A temperatura média sazonal é de 20°C no inverno e 32°C no verão.
- ▶ **Parte central:** nos estados brasileiros do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no Paraguai, na parte norte da Argentina (províncias de Misiones e Corrientes) e na parte oeste do Uruguai existe um clima subtropical com precipitação média anual entre 1.200 mm a 1.800 mm. Em algumas partes de Santa Catarina já foram registrados valores próximos a 2.000 mm de precipitação anual. A distribuição das chuvas é relativamente homogênea durante todo o ano. Somente no Estado do Paraná existem picos de chuvas durante os meses de verão. As estações do ano são bem diferenciadas, com invernos relativamente rigorosos, com geadas e, às vezes, com neve nas áreas mais elevadas, a exemplo de São Joaquim, no Estado de Santa Catarina. A temperatura média é de 16°C no inverno e 32°C no verão, sendo que na região próxima a Foz do Iguaçu chega a 34°C.
- ▶ **Parte sul:** prevalece uma precipitação média anual de 800 a 1.200 mm (UNESCO, 1996 citado por KITTL, 2000), podendo o clima ser caracterizado por subtropical, semiúmido, com temperatura média anual de 18°C.

2.3 Hidrografia

O Aquífero Guarani está localizado sob parte da Bacia Hidrográfica do Prata, muito embora seus limites não coincidam exatamente em regiões da Argentina, Brasil e Uruguai. A Bacia Geológica Sedimentar do Paraná e o Aquífero Guarani extrapolam os limites da bacia hidrográfica em pelo menos duas extensas regiões no Brasil: uma grande faixa ao norte de Porto Alegre/Rio Grande do Sul (Bacia Atlântica do Rio Jacuí) e outra na região do alto Rio Araguaia (ANA, 2001a).

A Bacia do Prata é a terceira maior do mundo, com uma área de 3.358.383 km² (ANA, 2001) englobando completamente o Paraguai, o sudeste da Bolívia, a maior parte do Uruguai e extensas áreas do Brasil e da Argentina, sendo formada por três rios principais: o Paraguai, o Paraná e o Uruguai e seus afluentes, os quais se situam entre os mais extensos do globo.

3 Caracterização geológica

3.1 Bacia Sedimentar do Paraná

A Bacia Sedimentar do Paraná é classificada como uma bacia intracratônica, por ter sua evolução totalmente sobre área cratônica. O termo cráton é utilizado para caracterizar uma parte da crosta terrestre, desenvolvida sobre placa continental relativamente pouco deformada, em comparação às faixas onde ocorre a formação de montanhas. Possui forma elíptica, com o eixo maior de direção nordeste-sudoeste (NE-SW), coincidindo, aproximadamente, com o curso atual do rio Paraná.

Segundo Milani e Thomaz Filho (2000), citados em OEA (2001), as sequências cratônicas do Fanerozoico formaram-se desde o início do Ordoviciano até o Cretáceo, ocupando mais de 3,5 milhões de km², distribuídos em cinco grandes bacias sedimentares (províncias hidrogeológicas): Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná no Brasil, e Chaco-Paraná na Argentina, Paraguai e Uruguai. Segundo Soares et al. (1978), citados em OEA (2001), uma característica peculiar dessas bacias intracratônicas é a evolução policíclica, em longos períodos de tempo, com fases sucessivas de subsidência e acumulação de grandes sequências deposicionais, separadas por discordâncias regionais que refletem épocas de soerguimento e erosão.

Durante o Mesozoico, a deposição de duas sequências, uma sedimentar continental e a outra vulcânica, foi influenciada pela separação (*breakup*) do Gondwana, refletindo na erupção dos basaltos da Formação Serra Geral, a mais energética fase da evolução da Bacia Sedimentar do Paraná (KITTL, 2000).

As rochas sedimentares da Bacia Geológica do Paraná, onde se localiza o Guarani, estão distribuídas em várias unidades litoestratigráficas, totalizando 6.000 metros de espessura. As rochas da bacia são principalmente terrígenas, constituindo unidades depositadas durante todo o Paleozoico e Mesozoico, com contribuições localizadas de rochas carbonáticas durante o Permiano, conforme (figura 3.1) (OEA, 2001).

Dentro da extensa bacia deposicional, os principais elementos estruturais que controlam os diversos aspectos da geometria, compartimentação e arquitetura do preenchimento sedimentar da bacia são: ao Norte, os arcos da Canastra e São Vicente; a Oeste, o Arco de Assunção e o Arco Pampeano/Puna; e, ao Sul, o Arco do Rio da Prata. Na porção interior da bacia, são reconhecidos importantes elementos estruturais como o Arco de Ponta Grossa, o Arco do Rio Grande e o Sinclinal de Torres, alguns já definidos por Zalán et al. (1990) citado em LEBAC/UNESP (2008).

Os diques do Arco de Ponta Grossa funcionam como uma grande barreira hidráulica que condiciona a direção de fluxo do domínio ao norte, fazendo com que as águas subterrâneas, recarregadas no estado de São Paulo, sejam impedidas de contornar estas barreiras naturais, que se estende até a calha do Rio Paraná. O fluxo geral das águas nessa região apresenta direção preferencial E-W.

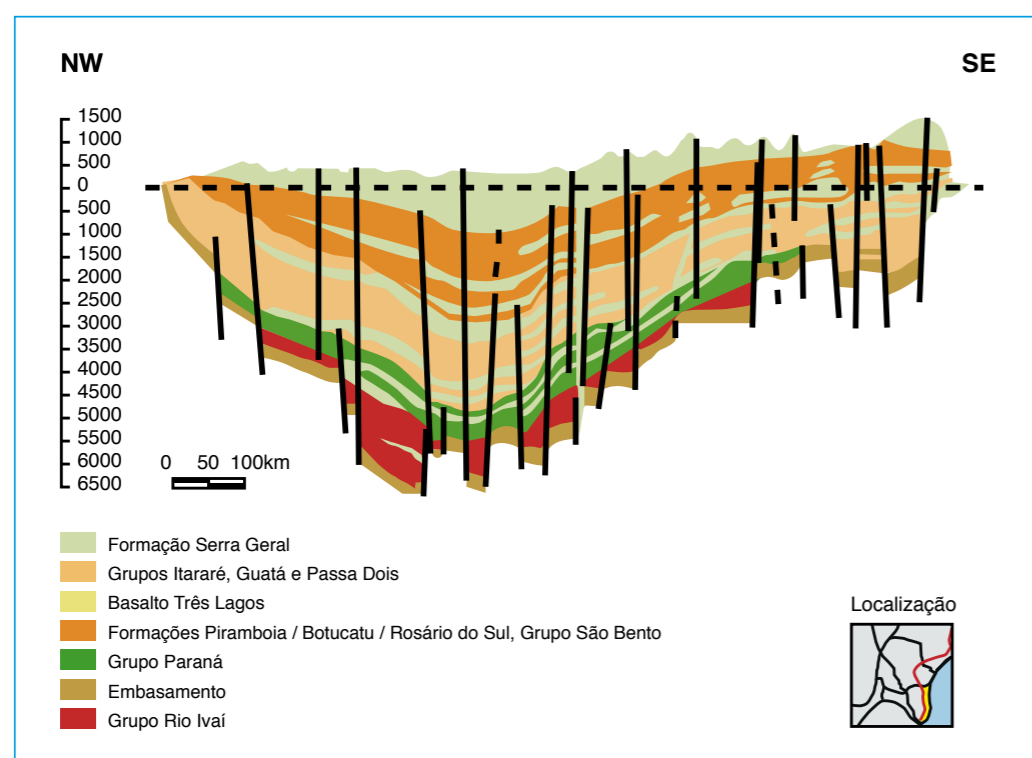


FIGURA 3.1 – SEÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL DA BACIA DO PARANÁ
 FONTE: Adaptado de Milani e Zalan (1998) citado em OEA (2001)

3.2 Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani é constituído de várias rochas, predominantemente arenosas, que foram sedimentadas em ambiente flúvio-lacustres e eólicas do Triássico e do Jurássico. Essas rochas, saturadas com água, encontram-se sotopostas em quase toda a sua extensão pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral, cuja espessura máxima pode ultrapassar 1.000 m.

Os estratos do Triássico encontram-se na base do aquífero e correspondem às unidades correlatas às Formações Piramboia e Rosário do Sul (no Brasil) e Buena Vista (no Uruguai). Os estratos do Jurássico encontram-se no topo do aquífero e correspondem às unidades correlatas da Formação Botucatu (no Brasil), Misiones (no Paraguai) e Tacuarembó (no Uruguai e na Argentina).

Sob o ponto de vista hidráulico, os sedimentos do Jurássico, de origem eólica, configuraram-se como bons aquíferos, enquanto os sedimentos subjacentes do Triássico, com origem flúvio-lacustre/eólica são afetados por altos níveis de argilosidade que comprometem sua eficiência em algumas áreas. Sendo assim, dentre as rochas que compõem o aquífero, a mais importante é o arenito Botucatu, que constitui o melhor reservatório de água devido à sua alta permeabilidade decorrente de sua origem eólica.

A Formação Rosário do Sul, de origem flúvio-lacustre (triássico), encontra-se somente no Rio Grande do Sul, conforme quadro 3.1 (ROCHA, 1997 citado em OEA, 2001).

QUADRO 3.1 - ASPECTOS LITOESTRATIGRÁFICOS DAS FORMAÇÕES PIRAMBOIA E BOTUCATU

ITENS	FORMAÇÕES	
	Piramboia	Botucatu
Era/Época	Mesozoica – Triássico (245 - 208 milhões de anos)	Mesozoica – Jurássico inferior (208 - 144 milhões de anos)
Localização	Brasil/Uruguai	Brasil/Paraguai/Uruguai/Argentina
Unidades Correlatas	Rosário do Sul (Rio Grande do Sul, Br) Buena Vista (Uruguai)	Misiones (Paraguai) Tacuarembó (Argentina e Uruguai)
Sedimentos	Arenitos	Arenitos
Origem	Flúvio-lacustre/eólica	Eólica desértica
Cor dos sedimentos	Avermelhados a esbranquiçados	Avermelhados
Granulometria	Média a muito fina - 0,12 mm	Fina a média - 0,18 mm
Textura dos grãos	Ampla heterogeneidade Argilas nos poros	Grande homogeneidade Grãos de quartzo arredondados
Teor de argila	> 20%	< 10%
Porosidade	Baixa (média de 16%)	Alta (média de 17%)
Condutividade hidráulica	Inferior a 0,01 até 4,6 m/dia	De 0,2 a 4,6 m/dia

FONTE: Rebouças (1976), Araújo et al. (1995); Milani et al. (1994) citados em OEA (2001)

Segundo o relatório final do Projeto Aquífero Guarani elaborado pelo LEBAC/UNESP, (2008), a Formação Misiones ocorre inclusive na Argentina e a Formação Tacuarembó apenas no Uruguai juntamente com a Formação Itacumbú. A Formação Botucatu sobrepõe-se à Formação Piramboia e na porção sul do estado do Rio Grande do Sul e em território uruguaio, abaixo dos eolianitos da Formação Botucatu/Tacuarembó (Membro Superior), ocorre uma unidade flúvio-eólica denominada Formação Guará, no Brasil, e Formação Tacuarembó (Membro Inferior), no Uruguai (LEBAC/UNESP, 2008) (quadro 3.2).

QUADRO 3.2 - UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

UNIDADE AQUÍFERA	ARGENTINA	BRASIL		PARAGUAI	URUGUAI
		CENTRO E NORTE	SUL		
Pós-SAG	Fm. Alto Paraná	Fm. Serra Geral (Curuzu Cuatia) Fm. Posadas/Solari	Gr. Bauru Fm. Serra Geral	Fm. Serra Geral	Fm. Arapey
SAG	Fm. Misiones (Fm. Tacuarembó) -	Fm. Botucatu Fm. Pirambóia	Fm. Botucatu Fm. Guará Fm. Caturrita Fm. Santa Maria	Fm. Misiones -	Fm. Tacuarembó (Fm. Itacumbu) -
Pré-SAG	Fm. Buena Vista	Gr. Estrada Nova Fm. Rio do Rasto	Fm. Sanga do Cabral	Fm. Tacuary Gr. Independência	Fm. Buena Vista

FONTES: LEBAC/UNESP (2008)

O pacote de camadas que constitui o Aquífero Guarani tem sua arquitetura arqueada para baixo, onde as camadas mergulham a partir das regiões de afloramento em direção à calha (ARAÚJO et al., 1995).

A Formação Serra Geral (Jurássico Superior e Cretáceo Inferior), predominantemente do tipo fissural, tem uma área aproximada de 1,1 milhão de km² e constitui-se na capa protetora do Guarani (figura 3.2), sendo composta por rochas ígneas vulcânicas, representadas por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, ocorrendo quantidades subordinadas de riolitos e riodacitos (MILANI, 1997 citado em OEA, 2001). Esse aquífero geologicamente conhecido como Formação Serra Geral, assim denominada no Brasil, recebe o nome de Alto Paraná, no Paraguai; Arapey, no Uruguai (REBOUÇAS e AMORE, 2002a) e Curuzú Cuatiá, na Argentina (KITTL, 2000). Dados hidroquímicos indicam que ocorre uma interconexão hidráulica entre o Aquífero Guarani e os aquíferos sobrepostos, em especial com a Formação Serra Geral (OEA, 2001).

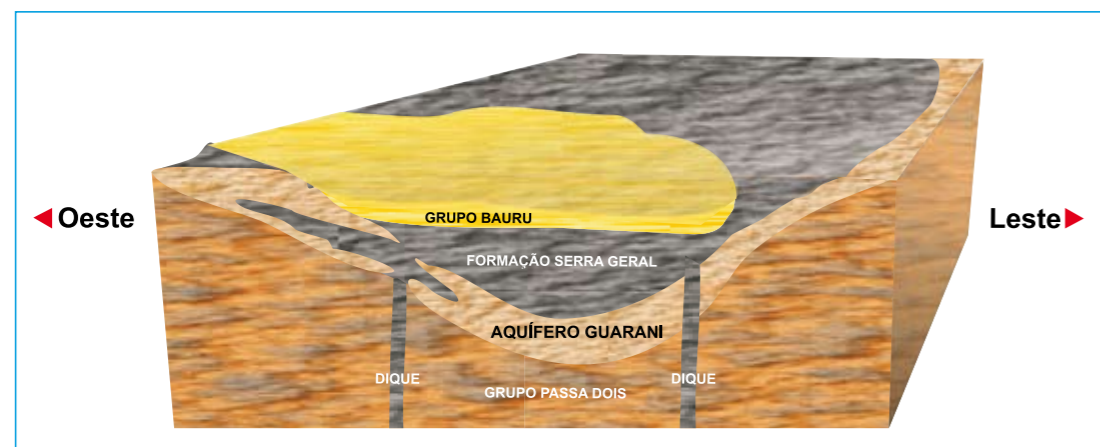


FIGURA 3.2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO AQUÍFERO GUARANI

A utilização de interpretações hidroquímicas, associadas com feições tectônicas, indica a existência de situações onde o Guarani encontra-se completamente compartimentado. Este tipo de caso está inserido dentro dos limites das feições do Arco de Ponta Grossa, em especial pelos alinhamentos do Rio Alonzo e São Jerônimo-Curiúva. Em termos geográficos, essa estruturação situa-se no Estado do Paraná, mais pronunciadamente na região que abrange a parte oeste, central e norte do Estado. As discontinuidades com direções N 40-60 W encontram-se preenchidas por diques de diabásios intrusivos, com mergulhos praticamente verticais e as direções N 40-60 E representam falhamentos com deslocamentos de blocos que colocam em contato lateral as formações Rio do Rasto e Serra Geral, com a Formação Botucatu (Aquífero Guarani).

Em situações como essa, as vazões de exploração dos poços tubulares podem se esgotar rapidamente porque não se percebe uma taxa de recarga efetiva de águas modernas (as águas armazenadas no aquífero podem atingir uma idade de até 30.000 anos). As águas extraídas do Guarani, nessas situações, são classificadas como sulfatadas-cloretadas-sódicas e os teores de sólidos totais dissolvidos são superiores a 1.000 mg/L, não sendo, portanto, apropriadas ao consumo humano, embora seu grau geotérmico (em média 30°C/km) seja importante para empreendimentos na área da agroindústria e do turismo.

Ainda, quando o aquífero encontra-se totalmente compartimentado por falhamentos geológicos e por intrusões de diabásios, como é o caso da região do Terceiro Planalto do Paraná, torna-se necessário estabelecer os limites geométricos do reservatório subterrâneo para que durante a exploração da água através de poços tubulares não ocorra o rebaixamento acelerado de seu nível potenciométrico.

Estudos desenvolvidos recentemente em São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul demonstraram que o Aquífero Guarani apresenta-se também nesses estados, em vários locais, compartimentado por falhamentos geológicos expressivos que funcionam como barreiras hidráulicas, segmentando o sistema aquífero e afetando o fluxo subterrâneo e a qualidade da água. Pode-se afirmar, então, que o Aquífero Guarani é um sistema compartimentado e a quantidade e qualidade de suas águas variam de região para região.

Essa compartimentação é determinante inclusive na condição de aquífero transfronteiriço imposta ao Guarani, ou seja, além de sua descontinuidade estrutural, este sistema não apresenta as características típicas de um aquífero com fluxos de água transfronteiriços (MACHADO, 2005). Embora as formações geológicas constituintes do sistema aquífero ocorram em todos os quatro países do Mercosul, sob o ponto de vista hidráulico, a condição de continuidade é presente na região entre o Mato Grosso do Sul e Paraguai, e entre o sudoeste do Rio Grande do Sul, Argentina e Uruguai. A condição de continuidade de fluxo da água subterrânea, originalmente estendida, de forma equivocada, para todo o sistema aquífero só ocorre, segundo estudos recentes, entre os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e na região fronteira deste último com o Paraguai (ROSA FILHO et al., 2006).

Vários estudos comprovam a descontinuidade estrutural e de fluxo das águas do Aqüífero Guarani: Silva (1983) demonstra uma conformação do fluxo subterrâneo no Estado de São Paulo, todo ele dirigido para a calha do rio Paraná, não mostrando percurso interestadual muito menos em relação a outros países limítrofes. Rosa Filho et al. (2003) mostram que a mesma situação ocorre no Estado do Paraná, onde o Arco de Ponta Grossa divide o aqüífero em pelo menos dois sistemas de fluxo independentes. Machado e Faccini (2004) demonstraram que o Rio Grande do Sul foi influenciado por três grandes sistemas de falhas, que dividiria o Sistema Aqüífero Guarani em pelo menos quatro grandes compartimentos, com características hidrogeológicas muito distintas com fluxos também diferenciados, sendo que as áreas de recarga e descarga do aqüífero estariam circunscritas ao território do Rio Grande do Sul.

Um exemplo típico desta compartimentação pode ser visualizada na figura 3.3, a qual foi observada num corte ou perfil estudado no trabalho de mestrado elaborado por Michael Strugale (2002).

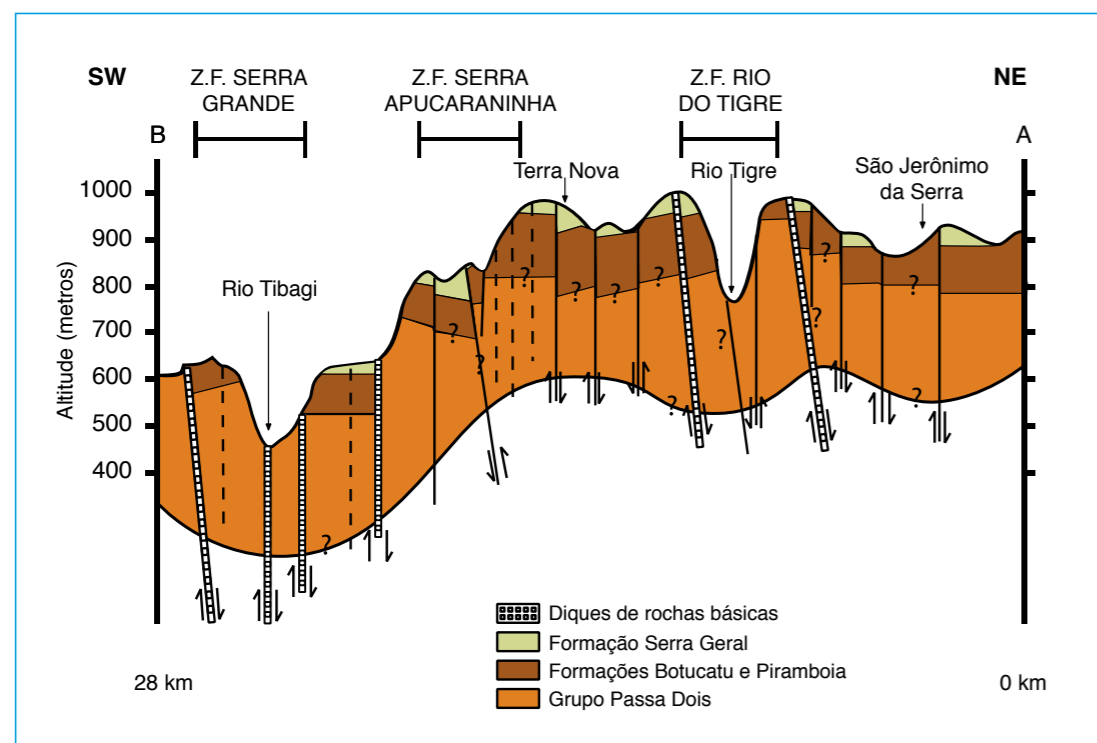


FIGURA 3.3 - PERFIL GEOLÓGICO NE-SW DA PORÇÃO LESTE DA ÁREA DE ESTUDO (ESTADO DO PARANÁ).
FONTE: Adaptado de Strugale (2002)

4 Características gerais do Aqüífero Guarani

Guarani é um aqüífero do tipo poroso (a água armazena-se nos poros de suas rochas) e confinado por cerca de 90% da sua área total. Ele encontra-se recoberto pelas espessas camadas de rochas basálticas da Formação Serra Geral e, em algumas regiões, pelos sedimentos que constituem os grupos Bauru e Caiuá, como, por exemplo, na cidade de Bauru (São Paulo) e em algumas áreas próximas à zona de afloramento no estado de Mato Grosso do Sul. Nas proximidades do limite ocidental do Aqüífero Guarani, em território argentino, sobre os arenitos da Formação Misiones, estão assentados arenitos da Formação Mariano Boedo, nas províncias de Formosa e del Chaco (LEBAC/UNESP, 2008). À medida que se direciona para as partes centrais da bacia geológica, o Guarani é encontrado em maiores profundidades devido à sobreposição das unidades geológicas mencionadas acima.

O contato subjacente é feito pela sequência de rochas sedimentares paleozoicas da Bacia Sedimentar do Paraná. No Brasil, essas rochas são representadas na porção norte da bacia pelo Grupo Estrada Nova e pela Formação Corumbataí que constituem um substrato praticamente impermeável para o aqüífero e, ainda, pela sequência alternada de siltitos e arenitos finos permo-triássicos, de baixa permeabilidade da Formação Rio do Rasto. Ao sul, o substrato do aqüífero é representado pelos arenitos das formações Sanga do Cabral.

No Paraguai, o Aqüífero Guarani está assentado sobre sedimentos arenosos pertencentes ao Grupo Independência e à Formação Tacuary. Na Argentina e no Uruguai, o aqüífero está assentado sobre a Formação Buena Vista, que em função de suas características litológicas foram, durante muito tempo, agregadas às unidades arenosas que constituem o Guarani (LEBAC/UNESP, 2008). Na Argentina, também, o aqüífero assenta-se sobre a Formação Victorino Rodrigues (REBOUÇAS et al., 2002a).

Apenas cerca de 10% da sua área total aflora na superfície do terreno, em forma de faixas alongadas, expondo as rochas arenosas, com cerca de 10 a 100 km de largura, ao longo das regiões marginais da Bacia Sedimentar do Paraná.

4.1 Espessura

A espessura total do Aquífero Guarani varia de valores superiores a 800 metros (Alegrete, RS) até a ausência completa em áreas internas da bacia (Muitos Capões, RS), sendo que as variações são atribuídas ao controle estrutural durante a deposição, à variação faciológica ambiental e ao controle erosional do ambiente desértico. As menores espessuras foram verificadas na região da divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e no território argentino (cerca de 70 a 100 m, sendo que um poço em São João do Oeste, em Santa Catarina apresenta espessura de 8 metros, segundo LEBAC/UNESP, 2008). As maiores espessuras do aquífero foram verificadas na região de Campo Grande (Mato Grosso do Sul), com valores superiores a 600 m e na região de Alegrete (Rio Grande do Sul), com valores acima de 800 m (ARAÚJO et al., 1995). Em média, a espessura do aquífero não ultrapassa 250 m.

As espessuras dos basaltos, por sua vez, aumentam da borda em relação ao centro da bacia, sendo que a maior espessura dessas rochas sobrepostas ao aquífero corresponde a 1.930 m, na região de Cuiabá Paulista, no Estado de São Paulo. É exatamente nesse estado que ocorrem, em área de confinamento, as maiores espessuras dessas rochas, entre 1.000 a 1.300 m. Na porção noroeste do Estado do Paraná, entre os rios Paranapanema e Ivaí, a soma das espessuras dos sedimentos da Formação Caiuá e dos derrames basálticos da Formação Serra Geral atingem até 1.440 m (OEA, 2001).

4.2 Zonas de recarga e descarga

A água de um aquífero pode estar concentrada na reserva permanente ou na reserva ativa ou reguladora que são abastecidas pelas zonas de recarga direta ou indireta:

- ▶ **Zonas de recarga direta ou de afloramento:** ocorrem nas regiões onde a erosão expõe parte dos arenitos (afloramentos). As principais zonas de recarga do aquífero em território brasileiro encontram-se na divisa entre os estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, nos estados de São Paulo e Santa Catarina (MENTE, 2001). A maior área de recarga do aquífero no Paraguai localiza-se nos departamentos de Caaguazú e Alto Paraná. A recarga nessa área se dá pela infiltração direta da água da chuva através do solo. Portanto, cerca de 80.000 km² representam áreas de recarga, às quais se somam as áreas do divisor de águas existente em Mato Grosso do Sul.
- ▶ **Zonas de recarga indireta:** o reabastecimento do Guarani pelas zonas de recarga indireta se dá por drenagem (filtração vertical) superficial das águas através das fissuras das rochas da Formação Serra Geral e pelo fluxo subterrâneo indireto, ao longo de discontinuidades das rochas do pacote confinante sobrejacente (Grupo Bauru/Caiuá), nas áreas onde a carga potenciométrica favorece os fluxos descendentes, ocorrendo em direção ao centro da Bacia (ARAÚJO et al., 1995).
- ▶ **Zonas de descarga:** ocorrem principalmente nas regiões cujas cotas topográficas são inferiores a 300 m. As principais zonas de descarga do sistema aproximam-se às

regiões próximas ao nível de base do Rio Paraná ou dentro da área de influência à jusante de sua bacia hidrográfica, bem como no Chaco Argentino. Essas áreas principais seriam as regiões planas e pantanosas entre os rios Uruguai e Paraná, na Argentina; e ao longo dos rios Paraná, Pelotas e Tietê (OEA, 2001).

Segundo o relatório final do Projeto Aquífero Guarani elaborado pelo LEBAC/UNESP (2008), as principais áreas de recarga e descarga das águas do aquífero estão associadas às faixas de afloramento, sendo que as principais áreas de recarga estão localizadas na borda leste do Aquífero Guarani, com fluxo direcionado para a porção sul. Nas proximidades das cidades de Dourados, Amambaí e Sidrolândia, todas no estado de Mato Grosso do Sul, é observada a ocorrência de inúmeras janelas de afloramento dos arenitos da Formação Botucatu, em meio aos basaltos, que funcionam como áreas de recarga locais. A inclusão de trechos dos principais rios que cortam as áreas de afloramento do Aquífero Guarani mostrou que, para a borda leste, região preferencialmente de recarga, eles representariam localmente descargas do Aquífero Guarani, o que reduziria sobremaneira a recarga profunda.

Ainda segundo o mesmo relatório, praticamente toda a faixa oeste de afloramentos do Aquífero Guarani representa uma área de descarga importante, alimentando toda a rede de drenagem formadora da bacia do Rio Paraguai até o Departamento de San Pedro, em território paraguaio. Outra importante zona de descarga ocorre na faixa EW localizada no estado do Rio Grande do Sul.

4.3 Direção de fluxo da água

A partir da área de recarga no Estado de Goiás e norte do Estado do Mato Grosso do Sul, onde as cotas potenciométricas são da ordem de 600 m, o fluxo desenvolve-se com deslocamento sul na porção central da bacia. A direção regional do fluxo, a partir da borda leste, é no sentido sudoeste. O outro fluxo é determinado pelos altos gradientes hidráulicos e por proeminentes áreas de descarga. Ainda na borda leste, no Rio Grande do Sul, na região próxima da divisa com o Estado de Santa Catarina, existe um divisor de águas subterrâneas que faz com que as águas escoem em duas direções. Uma, para sudeste, em direção ao Oceano Atlântico, sugerindo uma descarga localizada junto à linha de praia desse oceano (ARAÚJO et al., 1995), e a outra, para noroeste, controlando os deslocamentos até a descarga regional encaixada no Rio Uruguai. A queda da potenciométrica, de 750 m para valores em torno de 300 m na calha desse rio, pressupõe que este represente uma área de descarga do aquífero (ROSA FILHO et al., 1998).

Rosa Filho et al. (1987) observaram no Estado do Paraná uma contribuição das águas do Aquífero Guarani na composição das águas subterrâneas contidas nos basaltos do Sistema Aquífero Serra Geral, em vários pontos, indicando que o fluxo ascendente do Guarani para o basalto, através da análise das razões iônicas para os dois sistemas aquíferos, são distintas.

Com exceção do Rio Grande do Sul, as cotas potenciométricas mais elevadas

distribuem-se na região leste dos demais estados onde o aquífero aflora. No Estado de São Paulo predominam cotas em torno de 420 m, sendo que no Paraná e em Santa Catarina existe uma variação no gradiente, de 900 a 300 m (OEA, 2001).

O confinamento do Guarani impõe condições de surgência natural (artesianismo) a partir de algumas dezenas de quilômetros de distância das áreas de afloramento. A linha potenciométrica virtual correspondente ao domínio de surgência encontra-se em cotas inferiores a 400 m acima do nível do mar, predominantemente margeando as principais drenagens da região, a exemplo dos rios Paraná, Paranapanema, Iraí, Piquiri, Iguaçu e Uruguai, correspondente a cerca de 40% de sua área de ocorrência em uma faixa com largura de cerca de 300 km nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná (norte do estado), estreitando-se sensivelmente no sul do território brasileiro, seguindo até a província de Corrientes, em território argentino. Uma segunda região de artesianismo é reconhecida na divisa entre os territórios uruguaio e argentino, ao longo do Rio Uruguai, em faixa com largura da ordem de 50 km, com aumento na porção sul da área de ocorrência do Aquífero Guarani, em território uruguaio (LEBAC/UNESP, 2008).

É exatamente nessas regiões que estão localizadas as principais estâncias hidrotermais naturais, com temperaturas predominantes de até 43°C, podendo, em alguns casos, a exemplo de Cianorte (Paraná) e no norte do Uruguai, atingir valores superiores a 55°C (ROSA FILHO et al., 2003). Nas áreas com topografia mais elevada, onde os níveis de água nos poços são inferiores à altitude do terreno, esse manancial pode ser extraído por bombeamento (ROSA FILHO et al., 1998).

4.4 Características hidrodinâmicas ou hidráulicas

Estudos preliminares de balanço hídrico sugerem uma taxa média de renovação anual de $3,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ($160 \text{ km}^3/\text{ano}$) com tempo de renovação em torno de 300 anos, muito superiores a outros aquíferos em condições geográficas semelhantes ao Guarani (REBOUÇAS, 1994 citado em OEA, 2001). Tais dados são suficientes para afirmar que esse aquífero é um sistema hidrogeológico com capacidade volumétrica expressiva, taxas de recarga e tempo de renovação que possibilitam poços com vazões entre centenas até $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ surgentes (quadro 3.3), mas que apresenta particularidades quanto ao balanço hídrico e comportamento hidráulico.

A avaliação dos dados isotópicos indica a presença de águas com tempo de permanência maior que 10.000 anos na zona de confinamento na porção central da Bacia do Paraná, inclusive com a possibilidade de que algumas dessas águas apresentem idades superiores ao limite de detecção do método utilizado (Carbono-14); já nas zonas de afloramento e próximas a elas são encontradas águas recentes. Na porção norte do Aquífero Guarani, avaliação dos dados de idades indica a possibilidade de recargas em épocas mais antigas que 35.000 anos para

estas águas. Com relação às águas da região termal da Argentina, nos poços que exploram água salgada, os dados isotópicos indicam que essas águas têm origem distinta das águas do Aquífero Guarani presentes nos poços perfurados em território uruguaio e argentino (LEBAC/UNESP, 2008).

QUADRO 3.3 - CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO AQUÍFERO GUARANI

PARÂMETROS	VALOR MÉDIO
Coefficiente de permeabilidade	3 m/dia
Coefficiente de armazenamento	10^{-4} e 10^{-6}
Porosidade	15 a 20% (média 17%)
Transmissividade	entre 150 e 800 m ² /dia.
Velocidade de circulação das águas	muito baixa, variando de 0,75 a 0,50 cm/dia

FONTE: Gualdi (1999); Rocha (1996) citado em OEA (2001)

4.5 Volume da água

Em função da grande variação da espessura dos arenitos e do seu grau de compactação, o que revela diferentes valores da transmissão da água em seu meio, o cálculo do volume armazenado no Guarani em toda a sua área de ocorrência representa apenas um exercício de números.

Além dos aspectos de transporte, deposição e dos fatores erosivos que os sedimentos se submeteram, a ocorrência da água também está vinculada à estruturação do Guarani, causada por falhamentos geológicos (MACHADO e FACCINI, 2004; HINDI, 2007). Essas estruturações estariam relacionadas aos Arcos do Rio Grande e de Ponta Grossa, tendo este último, em especial no Estado do Paraná, promovido a intrusão de um enxame de diques de diabásios, com direção SE-NW. Essas rochas compartimentaram os arenitos, o que resultou, não raramente, em inúmeros reservatórios, cada qual limítrofe ao outro, tendo cada um deles diferentes cargas potenciométricas, grandes variações de espessuras dos arenitos e características diferenciadas na tipologia de suas águas.

Sob o ponto de vista teórico, estima-se que o volume de água armazenada no Guarani, em toda a sua área de abrangência, varia de 37 a 50 mil km^3 para a reserva permanente de água. Esses volumes distintos são decorrentes dos diferentes parâmetros dimensionais (espessura média e área) e coeficiente de porosidade efetiva, adotados pelos autores na seguinte expressão:

$$\text{Espessura média} \times \text{Área total do aquífero} \times \text{Porosidade média}$$

Seguindo este mesmo raciocínio e considerando-se a espessura média de 228 m (nos poços que atravessaram topo e base do Guarani); área de 1.194 milhões km^2 e porosidade efetiva média de 17%, tem-se o seguinte:

$$228 \times (1.194 \times 10^6) \times 0,17 = 46.279,44 \text{ km}^3$$

Esse valor correspondente ao volume total de água da reserva permanente foi feito constar no relatório da OEA (2001). Ainda que apresentado esse valor, considera-se mais prático destacar as vazões máximas permissíveis de exploração que podem ser extraídas através de poços tubulares profundos, sendo que os registros das vazões de poços adequadamente construídos variam entre 40 m³/h a 1.000 m³/h.

Levando-se em consideração que a água do manancial está situada a uma profundidade que oscila de 50 metros a 1.500 metros e que a porosidade varia de 15 a 20%, fica fácil entender o porquê de valores distintos de volume, pois cada autor, dependendo da área em estudo, irá usar diferentes parâmetros para espessura média, área e porosidade, conferindo, então, distintos resultados.

Segundo Chang (2001), a primeira avaliação de reservas na porção brasileira do Aquífero Guarani foi realizada por Rebouças, em 1976, estimando um volume para a reserva permanente desse aquífero de 48.021 km³ (48 quatrilhões de litros). Os parâmetros adotados foram: 800.000 km² (área); 300 m (profundidade) e 20% para o coeficiente de porosidade. As recargas naturais foram estimadas em cerca de 22 km³/ano, enquanto as recargas indiretas, em 138 km³/ano, perfazendo um total de 160 km³ que entram no manancial anualmente e que constituem a reserva reguladora ou ativa, em território brasileiro. Esse mesmo valor foi encontrado por Rocha (1997), citado por Chang (2001), cujo potencial de exploração foi estimado em 40 km³/ano (40 trilhões de litros), 25% da reserva ativa, sem riscos para o aquífero.

A exploração da água através de poços profundos permite a extração por unidade de captação de até 1.000.000 litros/h, como, por exemplo, no município de Pereira Barreto, em São Paulo (GUALDI, 1999). Um número considerável de poços apresenta vazões entre 150 e 300 m³/h e são utilizados para o abastecimento público das maiores cidades, principalmente no Estado de São Paulo (LEBAC/UNESP, 2008).

4.6 Qualidade da água

Vários estudos descrevem o Aquífero Guarani como um reservatório de águas com tipologias químicas muito díspares e qualidades químicas impróprias para o consumo humano, irrigação e uso na indústria, uma vez que na maior parte de sua área de ocorrência apresenta águas salobras ou muito salinas.

Esses estudos estão citados em Machado (2005) e são os seguintes: Silva (1983) descreveu que o Sistema Aquífero Botucatu-Piramboia mostrava um acréscimo muito grande de sais nas proximidades do rio Paraná, sendo que o mesmo foi observado em São Paulo por Gastmans e Chang (2005). Machado (1998) observou grandes diferenças entre a evolução química e a qualidade dos aquíferos triássicos e cretácicos na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Machado et al. (2002) concluíram que o aquífero, em muitos locais no oeste de Santa Catarina, não apresenta água de boa qualidade, mostrando também tipos químicos cloretados-sódicos.

Pesce (2002), analisando poços perfurados para estâncias termais, na divisa entre a Argentina e o Uruguai, observou muitos poços com grandes incrementos no teor de sais, tornando impróprias as águas para abastecimento público, podendo ser usadas unicamente por suas condições termais. Rosa Filho et al. (2005) também descrevem grandes diferenças de qualidade das águas do aquífero no Estado do Paraná, onde grande parte das águas é classificada como salobra.

Nas áreas de maior confinamento, as águas do Guarani não são, sem tratamento, adequadas para o consumo humano, devido ao elevado teor de sólidos totais dissolvidos, bem como uma concentração elevada de sulfatos e a presença de flúor acima dos limites recomendáveis. Esse tipo de situação foi constatada, por exemplo, num poço perfurado na cidade de Londrina, no Estado do Paraná, cuja água apresentou um teor de flúor de 12 mg/L (OEA, 2001). Essas concentrações anômalas de flúor estão relacionadas com as condições de grande confinamento e de um tempo elevado de residência das águas no Guarani. Recentemente, nas cidades de Cianorte, Marechal Cândido Rondon, Itaipulândia e Foz do Iguaçu, no Estado do Paraná, foram perfurados poços cujas águas apresentaram teores de sólidos totais superiores a 1.000 mg/L e concentrações de flúor acima de 3 mg/L.

Chang (2001) relaciona outros municípios cujas águas do Guarani apresentaram elevados teores de flúor (> 2mg/L) e de salinidade (> 800 mg/L). Estes municípios são os seguintes: Andradina, em São Paulo; Arroio do Meio, Encantado, Erechim, Santo Ângelo e Venâncio Aires, no Rio Grande do Sul, com teores anômalos de flúor; Auriflama, Fernandópolis e Lins, em São Paulo; Piratuba, em Santa Catarina e Santa Rosa, no Rio Grande do Sul, com teores anômalos de salinidade; Presidente Prudente, em São Paulo e Nova Prata, no Rio Grande do Sul, com as duas situações anômalas.

Situações semelhantes foram constatadas nas águas dos poços utilizados para o aproveitamento do geotermalismo, na Argentina e na região norte do Uruguai (KITTL, 2000), bem como em Ciudad del Este, no Paraguai. Outros exemplos de cidades cujas águas do Guarani apresentam problemas de potabilidade na sua condição de água *in natura* são: Fernandópolis, Ourinhos, Bernardino de Campos, Lins, todas localizadas no Estado de São Paulo.

O quimismo das águas do Guarani é muito variável, principalmente nas zonas confinadas, seja por efeito de variações faciológicas, seja por influência de misturas induzidas por fraturas tectônicas. A esses fatores, marcantes nas zonas confinadas, podem-se agregar os condicionantes da antropização da superfície nas áreas aflorantes e, portanto, mais vulneráveis (OEA, 2001).

As águas do aquífero, sob o ponto de vista físico-químico, possuem variadas classificações, conforme quadro 3.4.

QUADRO 3.4 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO GUARANI

	ZONA LIVRE	ZONA DE CONECTIVIDADE COM A FM. SERRA GERAL	ZONA FRANCAMENTE CONFINADA
TIPO	Bicarbonatadas-magnesianas a calco-magnesianas	Bicarbonatadas-cálcicas e calco-magnesianas	Bicarbonatadas-sódicas evoluindo a cloro-sulfatadas-sódicas
STD(1)	± 100 mg/L	± 200 mg/L	± 650 mg/L

FONTE: Silva (1983)

NOTA: (1) Sólidos totais dissolvidos.

De acordo com estudos de Tallbacka (2001), há evidências da existência de pelo menos três tipos de água dentro do Sistema Guarani: tipicamente água doce com total mineralização até 0,25 g/L no Botucatu/Tacuarembó; água salobra com mineralização variando entre 1-10 g/L no Piramboia/Buena Vista, com águas alcalinas.

Rocha (1996), citado em OEA (2001), sintetiza a informação, indicando que as águas do Aquífero Guarani são, em geral, francamente salinas, com teor de sólidos totais inferior a 300 mg/L na maior parte da área. A partir das áreas de recarga há uma tendência à alcalinização das águas no sentido do fluxo subterrâneo, acompanhada por um aumento gradual do teor salino, do pH e da temperatura. Essa evolução hidroquímica regional é controlada pelo grau de confinamento do aquífero, pela velocidade de circulação e pelo tempo de residência das águas.

O topo do Sistema Hidroestratigráfico Permo-triássico, constituído por estratos com características de aquitardes, é saturado por águas doce e salobra. Nas regiões mais estagnadas do aquífero, localizadas na calha central da Bacia Sedimentar do Paraná e nas áreas de menor circulação efetiva de águas meteóricas, como no caso do Estado do Rio Grande do Sul, poderá ocorrer contaminação natural através de águas mais salinas provenientes do sistema sotoposto, inviabilizando a potabilidade da água (ARAÚJO et al., 1995).

Na Argentina, Montaño et al. (1998) classificaram as águas do Guarani, em água doce do tipo bicarbonatadas-cálcicas (4%) e bicarbonatadas-sódicas (68%), com temperaturas elevadas nas regiões central e norte da bacia na Argentina, e água salgada do tipo cloretadas-sódicas (28%), com temperaturas relativamente baixas na parte sul da bacia. Com relação a esse fato, os autores explicam as duas águas como meteóricas originárias de diferentes condições climáticas.

No Uruguai, Montaño et al. (1998) classificaram as águas do Guarani conforme a zona aflorante (unidades hidrogeológicas Rivera e Tacuarembó, R-T) e a zona confinada (unidades hidrogeológicas Tacuarembó-Buena Vista-Yáguari e San Gregório-Três Islas, T-BV-Y e SG-TI). Na zona aflorante, as águas são cloretadas-cálcicas e bicarbonatadas-cálcicas, com valor médio de dureza total, expressa em CaCO_3 , de 45 mg/L e dos sólidos totais igual a 120 mg/L. Não foram encontrados valores de ferro, manganês e de fluoretos capazes de comprometer a qualidade da água para fins de consumo humano. Na área confinada, as águas classificam-se em bicarbonatadas-sódicas para o sistema R-T-BV-Y, com um valor médio de dureza total de 65 mg/L e em cloretadas-sódicas para o sistema SG-TI, com um valor médio de 200 mg/L de dureza total. A qualidade das águas pertencentes ao grupo San Gregório-Três Islas as inabilita para o abastecimento público, industrial e agrícola, devido ao alto conteúdo de sais, produto de sua origem glácio-marinha, e ao maior tempo de contato com o aquífero em função também da maior profundidade. A qualidade das águas do sistema R-T-BV-Y não apresenta limitações de potabilidade, salvo quando se misturam com águas do sistema SG-TI, como é o caso da perfuração de Almirão que apresenta sólidos totais dissolvidos de 6.344 mg/L.

É importante salientar que de uma água do tipo bicarbonatada cálcica-magnésiana, encontrada nas áreas mais próximas dos afloramentos do aquífero, até uma água sulfatada-cloretada-sódica, típica de áreas francamente confinadas, ocorre o aumento da salinização e da temperatura, assim como o valor do pH, ou seja, quanto maior a temperatura da água, maior o teor de sólidos totais. Em termos de aproveitamento, as primeiras são adequadas para o consumo humano, enquanto as demais podem ser utilizadas para o aproveitamento de seu grau geotérmico.

As águas do Aquífero Guarani apresentam valores de pH que variam entre 4.5 e 11.0, porém predominam valores próximos à neutralidade ($\text{pH} = 7.0$). A variação está relacionada principalmente à entrada de CO_2 dissolvido na água da chuva e no solo, nas áreas de recarga e aos processos de dissolução de carbonatos que compõem os cimentos das rochas-reservatório, nas zonas onde o Aquífero Guarani encontra-se confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral. No Paraguai e Uruguai, os valores de pH são normalmente inferiores a 7.0, com um aumento desses valores em direção ao centro da bacia, podendo chegar a valores superiores a 10.0, próximo à divisa entre os estados de Santa Catarina e Paraná. Valores de pH próximos a 8.0 na região termal verificam-se ao longo do rio Uruguai, entre os territórios argentino e uruguaio (LEBAC/UNESP, 2008). Segundo Gregoraschuk (2001), no Paraguai, o valor médio de pH das águas do Guarani é de 5.7, considerado relativamente baixo.

4.7 Temperatura da água

Na Bacia Sedimentar do Paraná, onde está situado o Aquífero Guarani, a ocorrência de água quente não se deve à existência de câmaras magmáticas, mas sim, em função do gradiente geotérmico (aumento da temperatura em função da profundidade). O valor médio terrestre de gradiente térmico é cerca de $1^\circ\text{C}/34\text{ m}$ ($29^\circ\text{C}/\text{km}$), ou seja, a temperatura da água aumenta 1°C a cada 34 metros de profundidade. Esse valor pode variar de 20 e 40 m, na maioria dos casos. É variável em uma mesma vertical, pelo menos nos primeiros quilômetros da crosta terrestre.

Segundo Araújo et al. (1995), as isotermas do Guarani, de uma maneira geral, distribuem-se segundo o gradiente de temperatura equivalente a $29^\circ\text{C}/\text{km}$ e delineiam uma calha de alta temperatura, que tem a mesma configuração da calha estrutural (MENTE, 2001).

Localmente, observaram-se áreas com anomalias positivas e negativas de gradiente geotérmico. Na região de Aratiba (Rio Grande do Sul) e Piratuba (Santa Catarina), na divisa entre esses dois estados, ao longo do rio Pelotas, o gradiente geotérmico cai para $20^\circ\text{C}/\text{km}$ ($1^\circ\text{C}/50\text{ metros}$), originando temperaturas locais anormalmente mais baixas. Essa diminuição da isoterma é coerente com a interpretação de que a área constitui uma zona de descarga local, onde haveria mistura com águas mais frias da Formação Serra Geral. Na região de Cachoeira Dourada (Minas Gerais), o grau geotérmico atinge $55^\circ\text{C}/\text{km}$ ($1^\circ\text{C}/18\text{ metros}$). Nessa região, o aquífero assenta-se diretamente sobre o embasamento e é coberto por basaltos (característica de toda porção noroeste da bacia nos estados de São Paulo e Goiás). Essa anomalia poderia ser explicada pela maior densidade de fluxo de calor proveniente do cristalino e pela maior estagnação do fluxo causada pelo completo confinamento dos basaltos (ARAÚJO et al., 1995).

De acordo com os estudos desenvolvidos por Teissedre e Barner (1981), citados em OEA (2001), a relação da temperatura da água em função da profundidade pode ser expressa pela seguinte equação (expressão):

$$T (^{\circ}\text{C}) = 0,0282 \times P (\text{m}) + 22$$

onde T representa a temperatura medida na boca de poço, P é a profundidade do topo do aquífero em metros e 22 é a temperatura correspondente à temperatura média anual da região, que varia de 21 a 23°C.

A reta estabelecida com a equação anterior mostra um gradiente geotérmico natural de 1°C/35 m, que é típico de zonas tectonicamente estáveis. Segundo Hindi (2007), o grau geotérmico das águas do Guarani varia de 1°C/37,6 m ou 26,6°C.km⁻¹.

As águas do Aquífero Guarani podem atingir temperaturas relativamente elevadas, em geral, entre 30 e 68°C, sendo que a temperatura média é de 25 a 30°C.

Medidas efetuadas na boca de poços indicam valores de 22 a 25°C nos afloramentos (parte livre); de 25 a 30°C na faixa adjacente de baixo confinamento e entre 30 e 68°C na maior parte da área confinada, ou seja, a temperatura das águas aumenta gradativamente das áreas de recarga para a calha da bacia.

Campos e Cerón (1998), citados por Kittl (2000), relacionam o aumento da temperatura (até 60°C) com o aumento de distanciamento das áreas de recarga na região leste da Bacia sedimentar do Paraná.

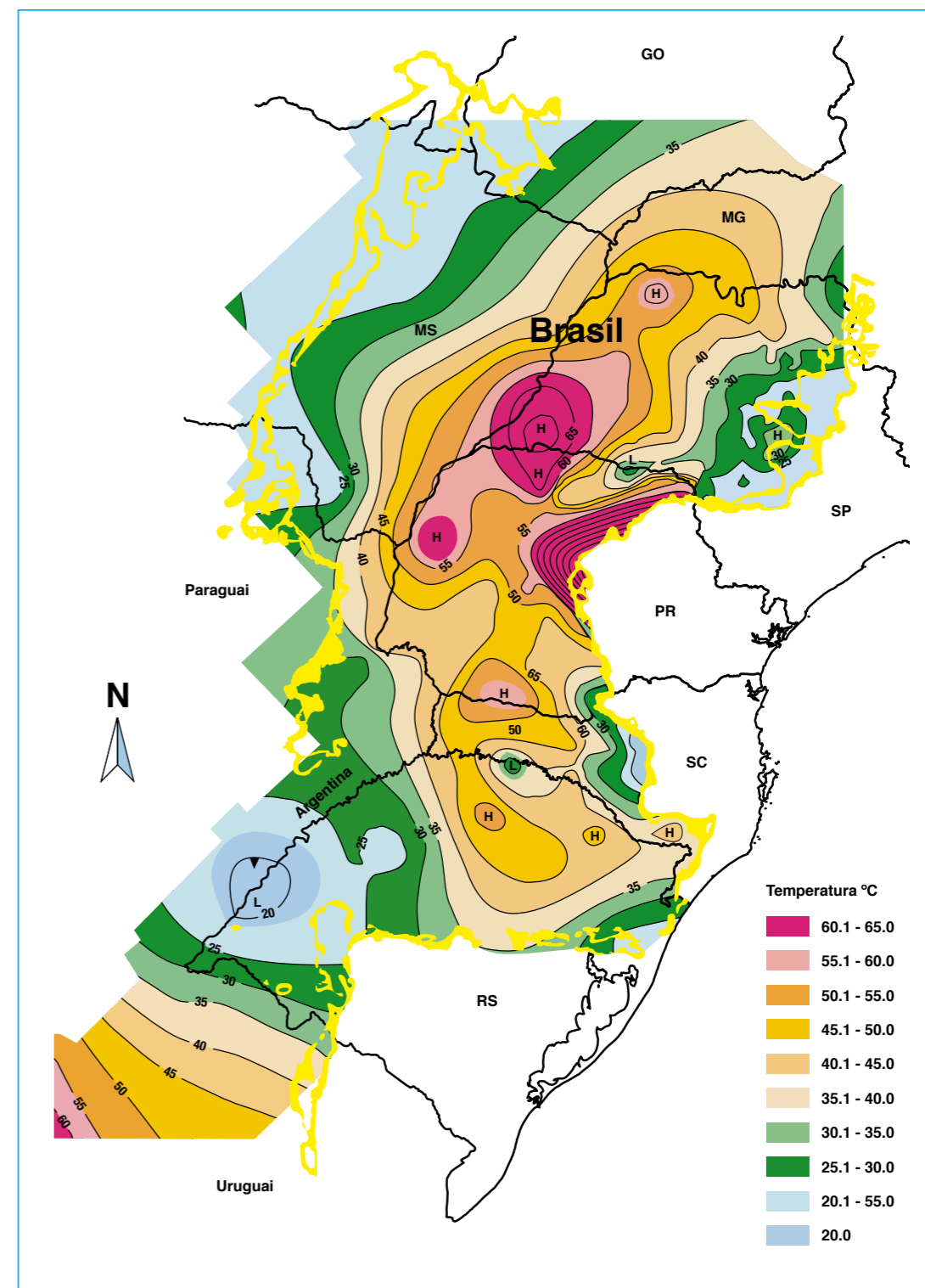
A temperatura máxima de 68°C foi registrada no município de Cianorte (Paraná), à profundidade de 1.565 m. No entanto, inúmeros poços profundos produzem águas com temperaturas em torno de 40°C. Essa variação de temperatura é sugestiva de movimento convectivo no Aquífero Guarani (CHANG, 2001). Esse mesmo autor cita em seu trabalho que Hamza et al. (1978) demonstraram que gradientes de 15 a 35°C/km são suficientes para provocar convecção no Aquífero Guarani e um sistema geotérmico de baixa entalpia (40 a 90°C). Esses autores calcularam a energia armazenada por unidade de área do aquífero em aproximadamente 280 MW ano/km², o que representa um potencial de aproveitamento energético significativo.

Uma estimativa da área do Guarani, com potencial de produção de águas termais superiores a 38°C, atinge aproximadamente 380.000 km², equivalente a, aproximadamente, 45% da área de sua ocorrência no Brasil, ou cerca de 30% da sua extensão total. Para a produção de águas com temperaturas mais elevadas, superiores a 60°C, a área potencial de ocorrência se restringe a pouco mais de 30.000 km², isso é, em torno de 4% e 3% da extensão do Guarani no Brasil e nos demais países, respectivamente (CHANG, 2001).

Em várias regiões, como em Salto (Uruguai), Foz de Iguaçu (Brasil) e em Pte. Franco (Paraguai) existe o fenômeno de surgência natural, inclusive com temperaturas entre 33 e 45°C.

As regiões onde ocorre o termalismo são aquelas confinadas pela Formação Serra Geral, na parte mais central da Bacia Sedimentar do Paraná. Nas áreas de afloramento não ocorre termalismo (mapa 3.7).

No Brasil, as primeiras ocorrências de águas termais detectadas no Guarani são da década de 70, num poço perfurado em Fernandópolis, no Estado de São Paulo, e numa fonte natural na cidade de Bandeirantes (Termas Yara), no Estado do Paraná. No Uruguai, são conhecidos antecedentes termais desde 1935, quando se realizou a primeira perfuração que captou água do Guarani, executada pelo Instituto Geológico del Uruguay (IGU). Na Argentina, a primeira perfuração termal foi realizada em finais de 1980, na localidade de Federación (OEA, 2001).



MAPA 3.7 – ISOTERMAS DO AQUÍFERO GUARANI
 FONTE: Modificado de Forlin e Rosa Filho, 2001

5 Uso do Aquífero Guarani

O uso mais intensivo das águas extraídas do Guarani está concentrado em território brasileiro, onde a diversidade de aplicações é maior. Já, nos demais países, o principal uso se baseia no hidrotermalismo, com fins recreativos e para fins hidroterapêuticos (CALCAGNO, 2001).

Na Argentina, a zona de exploração hidrotermal do Guarani está localizada na margem direita do rio Uruguai, onde estão situadas as cidades de Concórdia, Colón e Villa Elisa, na Província de Entre Ríos. Nesse país, esta é a área mais relevante para o desenvolvimento de uma atividade balneária hidrotermal turística, fundamentalmente, e com perspectivas de outros usos de tipo industrial (CALCAGNO, 2001). Já foram perfurados seis poços profundos nas cidades de Federación, Concórdia, Colón, Villa Elisa, La Paz e Concepción del Uruguai. A profundidade dos poços varia de 1.000 a 1.500 m, as vazões extraídas variam entre 12 e 450 m³/h e as temperaturas são da ordem de 30 a 46°C (PESCE, 2000).

No Paraguai, o uso principal do Guarani é o abastecimento da população por meio de poços perfurados nas áreas de afloramento. Os poços desse aquífero localizam-se principalmente na zona centro e sul, sendo utilizados, em sua maioria, para o abastecimento de pequenas comunidades com até 4.000 habitantes. Os caudais de produção variam entre 15 e 70 m³/h, mas não são representativos de real potencial devido ao fato de que as perfurações são parcialmente penetrantes no aquífero (CALCAGNO, 2001).

No Uruguai, o uso principal das águas do Guarani concentra-se no hidrotermalismo recreativo nos departamentos de Salto e Paysandú. As águas do aquífero são utilizadas também na irrigação e na indústria (CALCAGNO, 2001). A exploração com poços pode alcançar caudais máximos de até 800 m³/h representando uma das fontes hídricas com capacidade para prover empreendimentos direcionados a agroindústrias e ao turismo hidrotermal.

Segundo Sinelli (1984) citado por Chang (2001), o uso do Aquífero Guarani no Brasil, em larga escala, teve início no ano de 1930, com a finalidade de abastecer o município de Ribeirão Preto (São Paulo), o surto exploratório, porém, ocorreu na década de 70. No Aquífero Guarani, os dois primeiros poços profundos destinados ao abastecimento público, foram perfurados em Presidente Prudente e São José do Rio Preto no Estado de São Paulo, atingindo

profundidades de 1.080 m e 1.136 m, respectivamente, e com vazões da ordem 500 m³/h por unidade de captação. Posteriormente, foram perfurados mais setenta poços nos estados de Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo, com profundidades variando de 652 m a 1.795 m e vazões situadas entre 75 e 520 m³/h. No Estado do Paraná, no período de 2000 a 2003, foram perfurados quatro poços na região de Iporã - Londrina, com profundidades variando de 350 a 800 metros e que produzem entre 350 a 1.200 m³/h/poço.

Ainda de acordo com o estudo de Chang (2001), os maiores usuários do Guarani foram os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. No Estado de São Paulo, o aquífero é explorado numa faixa no sentido sudoeste-nordeste e quase todas as cidades que se encontram em sua região podem ser abastecidas com as suas águas.

O uso principal das águas do Guarani, no Brasil, é destinado ao abastecimento da população (70%), seguido do uso no setor industrial (25%), e para fins de irrigação, hidrotermalismo recreativo e terapêutico, com 5% (CALCAGNO, 2001). Como exemplo de utilização das águas para o abastecimento público, pode ser citada a cidade de Ribeirão Preto (São Paulo) que possui aproximadamente 100 poços em operação. Sobre este exemplo, é necessário destacar que o rebaixamento acentuado do nível potenciométrico devido ao bombeamento dos poços poderá causar uma inversão de fluxo vertical, passando de ascendente para descendente. Um processo como esse poderá provocar o carreamento das águas superficiais para o Guarani através das discontinuidades geológicas da Formação Serra Geral, sobrejacente.

Na Região Sul do Brasil (40% da área do Guarani em território brasileiro), verifica-se o pouco uso de suas águas, sendo que os aquíferos mais aproveitados, devido às facilidades de exploração, são o Serra Geral, predominantemente do tipo fissural, que ocorre capeando o Guarani, e os aquíferos das coberturas cenozoicas, que ocorrem em estreitas faixas entre as escarpas dos basaltos e o litoral (LEAL, 1999).

No Estado do Paraná, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) mantém atualmente 41 poços em operação, perfurados no arenito do Aquífero Guarani, em 22 localidades paranaenses, com um volume extraído no ano de 2008, equivalente a 6.964.636 m³, equivalente a 5,8% do volume total extraído de águas subterrâneas, abastecendo 114.507 pessoas, nas seguintes cidades: Barra do Jacaré, Cambará, Cruz Machado, Cruzmaltina, Grandes Rios, Inácio Martins, Jacarezinho, Londrina, Mauá da Serra, Novo Itacolomi, Porto Vitória, Ribeirão do Pinhal, Santa Amélia, Santo Antonio da Platina, São Sebastião da Amoreira e Tamarana. Os maiores volumes foram extraídos nas cidades de Santo Antonio da Platina e Cambará, com 33,9% e 21,8% do volume total extraído, respectivamente (João Horácio PEREIRA, gerente da USHG - Unidade de Serviços de Hidrogeologia, 2009, comunicação pessoal, em pesquisa no Banco de Dados da SIA-SANEPAR/USHG, abril de 2009).

A previsão para o ano de 2010, era a operação de 11 novos poços para o abastecimento de água em 8 localidades, com uma vazão de 1.250,0 m³ nas seguintes cidades: Grandes Rios, Faxinal, Ivaiporã, Jandaia do Sul, Jardim Alegre, Jundiá do Sul, Londrina, São Sebastião da Amoreira, com a maior vazão para a cidade de Londrina (720,0 m³) (João Horácio PEREIRA,

gerente da USHG - Unidade de Serviços de Hidrogeologia, 2009, comunicação pessoal, em pesquisa no Banco de Dados da SANEPAR/USHG, agosto/2009).

Em outras cidades paranaenses localizadas sobre as áreas de maior confinamento, tais como, Foz do Iguaçu, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Cianorte, Maringá, Iretama, Bandeirantes e Matelândia, as águas apresentam teores de sólidos totais dissolvidos, de sulfatos e de flúor acima dos limites aceitáveis para o consumo humano. O aproveitamento, nesses casos, deve ser dirigido para a agroindústria e para o turismo.

Como usos potenciais importantes preveem-se aumentos da demanda em Santa Catarina para a indústria frigorífica (GREGORASCHUK, 2001).

No Rio Grande do Sul, 89 municípios utilizam águas do Aquífero Guarani para o abastecimento público, associadas ou não com outras águas subterrâneas e superficiais, entre os quais estão: Alegrete, Arroio do Meio, Cacequi, Dois Irmãos, Encantado, Estrela, Feliz Igreja, Ivoti, Itaquí, Manoel Viana, Quaraí, Santa Cruz do Sul, Santana do Livramento, Santo Antônio da Patrulha, Santo Antônio das Missões, São Francisco de Assis, São Luiz Gonzaga, São Pedro do Sul, Sobradinho e Uruguaiana (Carlos Alvin HEINE, 2009, comunicação pessoal - Dados da CORSAN - Companhia Rio Grandense de Saneamento, 2009).

6 Vulnerabilidade do Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani, sendo constituído por arenitos relativamente permeáveis, devido à sua origem fundamentalmente eólica, apresenta na sua zona de recarga a maior vulnerabilidade à contaminação. A vulnerabilidade do Guarani diminui à medida que a formação se aprofunda e adquire condições de confinamento, subjacente aos basaltos da Formação Serra Geral. Nas zonas onde se localiza a maior espessura de basaltos recobrindo o Guarani, cuja potenciometria é superior à cota do terreno, o aquífero é surgente. Nesse caso, o fluxo vertical é ascendente, ou seja, as águas do Guarani recarregam a Formação Serra Geral, sobrejacente. Estando as águas do Guarani com elevadas concentrações de sais, elas podem contaminar as águas daquela formação. Segundo Calcagno (2001), outras áreas de grande vulnerabilidade, identificáveis e georeferenciáveis são as correspondentes às áreas de afloramento.

O principal fator de risco da utilização das águas subterrâneas resulta do grande número de poços rasos e profundos que são construídos, operados e abandonados sem tecnologia adequada, devido à falta de controle e fiscalização nas esferas federal, estadual e municipal (ABAS, 2002). Portanto, torna-se necessária a orientação junto à população, para que todos os poços abandonados, que atinjam ou não o Aquífero Guarani, sejam convenientemente selados para evitar a entrada direta de águas poluídas; e que os poços em uso sejam corretamente vedados para evitar a entrada de água contaminada no espaço anelar existente entre o revestimento dos poços e as paredes da perfuração (ZIMBRES, 2000).

Em relação à sustentabilidade do uso em termos de qualidade, o maior problema pode ocorrer nas zonas aflorantes onde não existe saneamento e onde o recurso é utilizado para o abastecimento da população (GREGORASCHUCK, 2001).

Estudos têm revelado que as águas do Aquífero Guarani ainda estão livres de contaminação. Contudo, considerando que a área de recarga coincide com importantes áreas agrícolas brasileiras, onde são usados intensamente herbicidas, é de se esperar que sejam

necessárias medidas urgentes de monitoramento e redução da carga de agrotóxicos para evitar a possível contaminação dele com esses agentes poluentes (ZIMBRES, 2000).

O Estado de São Paulo, no Brasil, destaca-se por concentrar a maior densidade populacional e atividade econômica da região, número elevado de poços em exploração e taxas de utilização da água do aquífero para abastecimento urbano e industrial e, também, nos cultivos de cítricos e cana-de-açúcar (indústria do álcool). Ribeirão Preto, Araraquara, Piracicaba e Franca são regiões desse Estado identificadas como críticas em termos de vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas (CALCAGNO, 2001).

Nas áreas de recarga do Aquífero Guarani, localizadas no Estado do Mato Grosso do Sul, no Brasil, principalmente na porção que abrange as nascentes dos rios Taquari e Coxim, o problema maior tem sido o assoreamento dos cursos de água, em decorrência do manejo inadequado das pastagens, favorecido pelo intenso processo erosivo (GOMES et al., 1999b citados em EMBRAPA, 2002). O uso de agroquímicos e os dejetos dos criadouros de porcos e estabelecimentos de laticínios parecem ser as fontes de contaminação, dispersas e, respectivamente, mais representativas, principalmente em Camapuã e São Gabriel do Oeste.

No Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, pelas características de disposição e uso do aquífero, a zona de afloramento mais vulnerável é Santana do Livramento (CALCAGNO, 2001).

As áreas no Paraguai que merecem atenção especial quanto ao risco de contaminação do Guarani são aquelas com o uso intensivo de agrotóxicos, crescimento populacional e projetos de indústrias de peças como Cerro San Rafael (zona de afloramento). Em Caaguazú (zona de recarga), especialmente em Misiones e Itaipuá, a preocupação se deve ao uso intensivo de cultivos de soja, algodão e café. Ainda no mesmo país, embora o Guarani apresente uma grande zona de exposição equidistante dos grandes centros de desenvolvimento da região oriental (Assunção, Cidade del Este, Encarnación e Ao. Pirapó), os especialistas locais entendem que existe um grande nível de risco em virtude do potencial de desenvolvimento da irrigação, urbano e industrial que apresenta essa região (CALCAGNO, 2001).

De acordo com o mesmo relatório de Calcagno (2001), além das já citadas áreas acima, foram identificadas outras áreas consideradas críticas por apresentarem um conflito entre as características intrínsecas do aquífero e seu aproveitamento (exploração hidrotermal), uso do solo e eventuais riscos de contaminação. Na Argentina, essas áreas são: Concórdia, Colón e Villa Elisa, em Entre Ríos; San Ignacio, em Misiones; Curuzú Cuatiá-Mercedes e Paso de los Libres-Yapeyu, em Corrientes (possíveis áreas de recarga e exploração hidrotermal). No Uruguai, as áreas críticas são: Rivera, que faz divisa com Santana do Livramento, no Rio Grande do Sul, onde o risco é de contaminação urbana e agrícola, com evidências de problemas de qualidade de água em poços de abastecimento; Tacuarembó; Artigas; Bella Unión e Salto, com alto potencial para a captação de águas termais destinadas ao uso turístico e eventualmente outros de caráter industrial.

Segundo Gomes et al. (2006), num estudo de avaliação de risco de contaminação das águas nas áreas de recarga direta ou de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Brasil, concluiu-se que tais áreas têm se mostrado bastante expostas ao risco de degradação por agrotóxicos e por processos erosivos, provocados principalmente pelo avanço das atividades agrícolas sobre elas. Os autores classificaram como áreas críticas com alto risco de contaminação por agrotóxicos as “nascentes do Araguaia”, no Estado do Mato Grosso, cultivadas com milho sorgo; toda a área de recarga e afloramento (Planalto Médio Paulista), no Estado de São Paulo, cultivada com cana-de-açúcar, e a área de “campanha”, no Estado do Rio Grande do Sul, cultivada com arroz irrigado.

7 Histórico de estudos compartilhados

O conceito inicial e informal de um projeto sobre o Aqüífero Guaraní que envolvesse os quatro países ocorreu por ocasião do Congresso da Associação Latino-Americana de Hidrologia Subterrânea para o Desenvolvimento (ALHSUD), em 1992, pelos professores de hidrogeologia Ernani Francisco da Rosa Filho, da Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Brasil, e Jorge Montañó Xavier, da Universidad de la Republica Oriental del Uruguay (UDELAR) – Uruguai. Esse conceito informal foi a base para transformar-se no atual projeto denominado Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aqüífero Guaraní, com recursos doados pelo Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) por meio do Fundo Mundial para o Meio Ambiente (GEF) e com administração da Organização dos Estados Americanos (OEA).

Chamava-se a atenção, na época, para a importância do uso das águas do Guaraní no desenvolvimento socioeconômico não somente no Brasil, mas também no Uruguai, Argentina e Paraguai. Sendo assim, o objetivo era o de contribuir diretamente para a sociedade, com a possibilidade de uma nova alternativa de captação de água potável para o consumo humano e também para outros fins, utilizando menos recursos financeiros e num espaço de tempo menor, de modo a acelerar o desenvolvimento (abastecimento público, industrial, geração de empregos, etc.) nas regiões onde ocorre o aqüífero. No referido projeto, além de descreverem os aspectos gerais do aqüífero, os pesquisadores mencionaram as diversas aplicações da água subterrânea armazenada nas Formações Piramboia e Botucatu, salientando as vantagens de usá-lo para o abastecimento público de cidades de médio e grande porte, bem como para aproveitar as suas características geotermiais.

O primeiro projeto formalizado para os quatro países teve a denominação “Proyecto Sostenible del Acuífero Botucatu” e foi patrocinado pelo *International Development Research Centre* (IDRC - Canadá), no ano de 1995. Estava inserida no referido projeto a integração das instituições governamentais e privadas do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai, a qual tinha o objetivo de se estabelecer medidas conjuntas que favorecessem a exploração racional e sustentada do Aqüífero Guaraní, bem como a proteção dele por meio de procedimentos legais. A ideia era a de sensibilizar

instituições nacionais e internacionais para viabilizar um projeto integrado com destaque à inserção de um programa de desenvolvimento com suporte em cooperação tecnológica, científica, econômica e legal. Além da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e da Universidad de la Republica Oriental del Uruguay (UDELAR), integraram-se à equipe de pesquisadores o Prof. Mario Filí, da Universidad Nacional del Litoral (UNL); o Prof. Mario Hernandez, da Universidad de La Plata e o Prof. Miguel Auge, da Universidad de Buenos Aires, todas essas na Argentina.

O “Proyecto Sostenible del Acuífero Botucatu” possibilitou ainda a realização, em Curitiba (Paraná), da Jornada Técnico-Científica sobre Gestão Sustentável do Aqüífero Internacional Botucatu, no ano de 1995, e o Workshop Internacional do Aqüífero Gigante do Mercosul.

Concomitante, no ano de 1995, foi elaborada a primeira base técnico-científica sobre o sistema Aqüífero Guaraní, em nível de Bacia Geológica do Paraná (ARAÚJO et al., 1995). Esse documento, o qual inclui um arcabouço hidrogeológico na escala 1:5.000.000, é composto de mapas de isópacas do aqüífero, estrutural do topo do aqüífero, isópacas de rochas acima do aqüífero, cotas potenciométricas e um mapa de isotermas. Para a elaboração desses mapas, foram utilizados 322 poços, sendo a maioria perfurados, visando a prospecção de petróleo.

Posteriormente, em 21 de abril de 1999, o Prof. Ernani Francisco da Rosa Filho, da UFPR, apresentou uma proposta de projeto aos engenheiros Luiz Gabriel Azevedo e Michael Carrol, ambos representantes do BIRD, na cidade de Foz do Iguaçu, de forma que ela pudesse gerar um documento de integração dos quatro países. O BIRD aceitou a proposta com a condição de ajustá-lo segundo as linhas de atuação do GEF. A partir desse momento, o próprio BIRD trabalhou junto às universidades envolvidas e aos governos de cada país, no sentido de que cada setor participasse por meio de contrapartidas, proporcionando um envolvimento institucional formal. Nesse intervalo de tempo, já havia sido proposta, por Danilo Antón, a denominação “Aqüífero Guaraní” a esse reservatório de águas que ocorre nos quatro países do Cone Sul.

Com base nesses antecedentes, gerou-se um processo de negociação por parte dos Governos de Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, para articular a participação das entidades responsáveis pela gestão dos recursos e das universidades. Foi apresentada ao GEF uma proposta para a realização de um projeto sob a óptica de águas subterrâneas transfronteiriças, cujo objetivo seria a proteção ambiental e a gestão sustentável integrada do Sistema Aqüífero Guaraní (SAG). Isso resultou na realização de um seminário sobre esse aqüífero, na cidade de Foz de Iguaçu, Brasil, em 1º de fevereiro de 2000, com a participação de representantes dos quatro países, da Organização dos Estados Americanos (OEA) e do BIRD. O resultado foi a aprovação do documento Concept Paper, a partir do qual os países se comprometiam oficialmente a implantar o projeto em nível governamental, sendo que os benefícios esperados eram: reconhecimento do SAG como portador de recursos transfronteiriços valiosos e criação de um modelo para a gestão coordenada do SAG, que incluísse arranjos jurídicos e institucionais transfronteiriços.

A OEA, já como agência de coordenação regional, contratou a Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (FUNPAR)

para a elaboração do Termo de Referência “Expansão e Consolidação da Base Atual de Conhecimento Básico” (OEA, 2001), concluído em 15 de dezembro de 2000, e atuou como a agência administrativa do Projeto para a Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani.

Revelando o verdadeiro Aquífero Guarani

Nos últimos anos, divulgou-se que o Aquífero Guarani era a maior reserva subterrânea de água doce do mundo - um imenso mar de água doce sob o solo, compartilhado de forma contínua e homogênea pelos quatro países do Mercosul - com capacidade para abastecer a população mundial por 2.500 anos, despertando um grande interesse em relação a esta reserva e gerando muitas informações falsas a respeito dela. Na realidade, ele não é um lençol de água e sim uma rocha, cuja extensão o coloca na posição de 3º maior do mundo, sendo que na maioria das regiões do aquífero as suas águas não são potáveis.

Felizmente, estudos realizados por várias instituições universitárias e órgãos públicos têm demonstrado, de maneira inequívoca, as verdadeiras dimensões e características deste sistema aquífero que se apresenta totalmente descontínuo e com várias compartimentações, não apresentando as condições típicas de um aquífero com fluxo transfronteiriço, não necessariamente com conexão hidráulica, e contendo extensas áreas com águas de péssima qualidade, variando de salobras a salgadas (MACHADO, 2005).

Compartimentação: Segundo Rosa Filho et al. (2006), ficou demonstrado que o aquífero encontra-se totalmente compartimentado, ou seja, o aquífero não é contínuo, e que a qualidade da água de um compartimento em relação a outro é diferente.

Potabilidade da Água: Até o presente momento, pode-se dizer que as águas do Guarani são potáveis em 20 a 30% da sua área. Nas regiões onde o aquífero ocorre em maiores profundidades, a água (in natura), pode conter elevado teor de sólidos totais dissolvidos, alta concentração de sulfatos e presença de flúor acima dos limites recomendáveis. Essas concentrações estão relacionadas com as condições de grande confinamento e de um tempo elevado de residência das águas no aquífero. Por isso, é equivocada a afirmação de que o Aquífero Guarani é a maior reserva de água subterrânea potável do mundo. Normalmente quando as águas do aquífero são muito quentes, elas não são adequadas ao consumo humano pela alta salinidade.

Volume da Água: O Aquífero Guarani é representado por um pacote de rochas arenosas que acumula a água em seus poros (como se fosse uma esponja), sendo que sua distribuição pode aflorar na superfície do terreno, bem como ser encontrada até 1.500 m de profundidade. Como a infiltração é lenta, a renovação deste manancial também é vagarosa, ou seja, tudo que é retirado do aquífero pode demorar milhares de anos para ser repostado e, em situações específicas, as águas das chuvas não atingem as camadas aquíferas. Portanto, se a idade das águas em determinadas regiões do aquífero calculadas por isótopos de carbono 13 e 14 varia entre 15 a 30 mil anos, a sua “recarga indireta” torna-se impossível pelas condições de diferenças de pressão das águas do Guarani em relação às águas armazenadas nos basaltos, sobrejacentes. A extração da água do Guarani, nesses casos, representa um processo de “mineração”, uma vez que não existe reposição das águas provenientes da precipitação pluviométrica. Em situações onde o aquífero aflora na superfície do terreno, a recarga ocorre de forma direta. O aproveitamento da água para outros usos exige o conhecimento das dimensões do reservatório (compartimento do aquífero), o volume armazenado e o regime diário de bombeamento para o cálculo do tempo de produção possível da água. Esta colocação é para situações onde a água não é “jovem”, tal como são as águas provenientes das chuvas e que recarregam o aquífero de forma direta (ROSA FILHO et al., 2006).

Condição de Aquífero Transfronteiriço: As formações geológicas ocorrem nos quatro países, porém a condição de conexão hidráulica está presente na região entre o Mato Grosso do Sul e Paraguai, e entre o sudoeste do Rio Grande do Sul, Argentina e Uruguai, devido à compartimentação do aquífero, conforme estudos recentes. No Estado do Rio Grande do Sul, as águas do aquífero não ultrapassam as fronteiras; suas águas se infiltram e descarregam dentro do próprio Estado, nas suas falhas geológicas ou então em grandes mananciais, como o rio Uruguai (MACHADO, 2005).

A integração das águas

4

*O Aquífero Guarani no
Desenvolvimento Regional*

1 Aspectos relevantes do Aquífero Guarani

A água como recurso natural renovável e limitado, vital para a maioria das atividades humanas e para o ambiente, adquire cada vez mais valor econômico (perdendo seu aspecto natural de gratuidade) e papel estratégico. Como recurso ambiental, deve ser preservada com o uso racional e seus mananciais recuperados (OLIVEIRA FILHO, 2000).

O crescimento da população mundial a uma taxa média de 1,7% ao ano e o conseqüente crescimento desordenado das cidades desencadeiam uma série de fatores relacionados aos recursos hídricos, tais como a elevada demanda por água, a extração excessiva dos aquíferos, o desperdício (vazamentos e perdas em sistemas de abastecimento de água, entre outros), o uso irracional, a poluição, a contaminação e a degradação dos mananciais. Esses fatores, associados à sua baixa disponibilidade ou escassez em várias regiões do planeta e a falta de iniciativa pública para resolver os problemas hídricos, certamente levarão a uma crise de água em poucas décadas, mesmo nos países onde a água doce é abundante.

A utilização das águas subterrâneas tem-se transformado numa alternativa viável, sobretudo onde as águas de superfície tornam-se cada vez mais poluídas, além de constituir um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social sustentável de regiões extremamente carentes onde ocorrem. A viabilidade da utilização desse recurso é decorrente de algumas de suas características: elas são cerca de 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais, constituindo uma importante reserva estratégica; não necessitam de tratamento prévio ao consumo, uma vez que são filtradas e depuradas pelos processos biogeoquímicos do subsolo, determinando uma purificação natural que se mostra muito melhor do que aquela obtida pelos métodos usuais de tratamento da água que é captada dos rios, lagos e represas. Por apresentarem uma distribuição generalizada, as águas subterrâneas estão mais bem protegidas às ações antrópicas e sua captação exige reduzidos recursos financeiros.

A relação custo-benefício da exploração das águas subterrâneas é altamente favorável quando comparada com a captação/tratamento/distribuição dos recursos hídricos superficiais. Em termos de custo, verifica-se que mesmo nas condições mais desfavoráveis, o

valor monetário médio do metro cúbico produzido é de cerca de 65% inferior àquele que seria obtido dos mananciais de superfície alternativos para o abastecimento de demandas situadas entre 300 e 700 m³/h.

Evidencia-se, porém, que a exemplo do que ocorre nos países europeus e nos Estados Unidos da América do Norte, as águas subterrâneas, sendo de melhor qualidade, menor custo e mais protegidas, devem ser utilizadas prioritariamente para o consumo humano.

Sendo assim, poder-se-ia supor que as águas do Guarani fossem utilizadas apenas para o abastecimento da população, no entanto, diante do termalismo de suas águas, com suas múltiplas aplicações, fica demonstrada a viabilidade de sua exploração econômica, porém com sustentabilidade ambiental.

Entretanto, as discussões atuais sobre o Aquífero Guarani fundamentam-se nos seguintes aspectos:

- ▶ a sua extensão e volume;
- ▶ a sua transnacionalidade parcial envolvendo os quatro países do Mercosul;
- ▶ o enorme potencial de suas águas para o abastecimento público (em determinadas regiões) e, principalmente, o seu uso termal com múltiplas aplicações, gerando desenvolvimento socioeconômico;
- ▶ a utilização restrita do seu potencial volumétrico e nas aplicações geotermiais, determinado pela falta de cultura de uso de águas subterrâneas;
- ▶ a preocupação com a possibilidade da sobre-exploração do recurso, determinando possíveis contaminações e a degradação dele;
- ▶ sua importância ambiental nas áreas de afloramento, a qual tem gerado constantes preocupações.

Além disso, considerando que energia e água são requisitos imprescindíveis para proporcionar a modernização de regiões com a conseqüente melhoria da qualidade de vida de sua população, e as vantagens da utilização das águas subterrâneas, pode-se afirmar que o Aquífero Guarani torna-se extremamente relevante no desenvolvimento socioeconômico das regiões onde ele ocorre. Essa reserva apresenta ainda qualidades quase únicas no mundo, como a potabilidade das suas águas, especificamente onde o confinamento pelos basaltos é baixo, assim como possibilidades de surgência e termalismo. Esta última característica pode resultar em economia de energia ou na cogeração de energia elétrica “limpa”, ao contrário dos combustíveis tradicionais que contaminam e/ou geram impactos ambientais (ARAÚJO et al., 1995), tornando o uso de suas águas ainda mais econômico nas suas múltiplas aplicações. No Aquífero Guarani, cujo grau geotérmico varia de 20 a 29°C km, com suas águas podendo atingir até 68°C (OEA, 2001), estimou-se preliminarmente que a utilização da função geotermal representaria uma economia de 11 mil megawatts de energia (REBOUÇAS, 1994 citado por REBOUÇAS e AMORE, 2002a).

O geotermalismo das bacias sedimentares, como o do Guarani, representa uma fonte de energia que pode ser explorada economicamente, seja para a produção de energia ou para captação de águas quentes, cuja aplicação mais difundida, mundialmente, são as plantas geotérmicas. Nos últimos anos, a utilização de recursos termiais de menor temperatura (< 120°C) têm encontrado muitos adeptos, com importantes êxitos, nas denominadas aplicações de uso de calor direto. Essa prática conta com um importante número de possibilidades de aplicação, englobando uma ampla gama de aspectos industriais (em pequena, média e grande escala), agrícolas e empreendimentos recreativos e sociais (OEA, 2001).

A exploração desse recurso termal, dito de baixa entalpia, tem um desenvolvimento muito recente. Calefação e refrigeração, empreendimentos na agricultura e aquicultura, entre outras, são algumas das aplicações mais conhecidas e extendidas dentro da utilização dos fluidos termiais, sendo que a maioria dessas aplicações requer temperaturas entre 35 a 150°C. Contudo, o uso direto do calor é a forma mais antiga, versátil e comum de se utilizar os fluidos termiais.

Exemplos da ocorrência do geotermalismo similares ao do Aquífero Guarani encontram-se no leste da China, Nova Zelândia, Austrália, norte e leste da Europa (Geothermal Education Office, 1997 citado por ROSA FILHO et al., 2000a). Dentre os países da Europa que utilizam águas quentes das bacias sedimentares, destaca-se a aplicação em piscinas, estufas e *spas*. Em Paris, existem poços com 1.800 m, perfurados na Bacia Aquitânia, captando águas com temperaturas de 45 a 85°C, que fazem a calefação de 200.000 residências. No leste da China, as águas quentes de mais de 400 poços são utilizadas para a calefação de ambientes, tintura de roupas e o processamento de papel. Nas áreas rurais, a água quente é usada em estufas para a secagem da produção agrícola, especialmente de arroz, e para sistemas de criação de peixes (OEA, 2001).

Os vários usos das águas desse aquífero, captadas nos próprios locais onde ocorrem as demandas, favorecem a implantação de empreendimentos na região, nos mais diversos setores, e com menor aplicação de recursos financeiros do que normalmente são exigidos para a construção de barragens, e sem os efeitos negativos causados pelas grandes obras ao meio ambiente.

Em termos gerais, o uso da água termal pode servir como matéria-prima principal ou complementar nos processos de produção da atividade agroindustrial, industrial ou do turismo, ou seja, as águas do Guarani podem ser usadas em atividades que requeiram temperaturas mais elevadas (acima de 68°C), proporcionando economia de energia no aquecimento da água até a obtenção da temperatura ideal para uma determinada atividade.

Além disso, as águas podem ser utilizadas multidisciplinarmente à medida que vão sendo resfriadas. Entende-se que essa é a maneira mais racional de se utilizar esse recurso. Por exemplo, no Mabu Thermas & Resort, em Foz do Iguaçu, as águas termiais do Guarani, com temperatura média de aproximadamente 31°C, após circularem nas piscinas de recreação, são conduzidas até os tanques de peixes, proporcionando o crescimento desses animais acima da

média obtida no seu hábitat nas épocas frias e protegendo-os das doenças comuns de inverno, como os fungos, que podem acabar com plantéis inteiros.

Apesar do enorme potencial do Guarani entre os países do Mercosul, a exploração desse aquífero ainda está caracterizada por uma visão restrita sobre o uso de seus recursos hídricos subterrâneos atrelados à falta de controle e de um mecanismo jurídico e regulatório (SMA, 2000) justificável por envolver quatro países com legislações próprias e distintas. Além disso, das inúmeras aplicações da qualidade termal de suas águas, até o momento a exploração desse quesito tem se restringido, principalmente, ao turismo termal, muito mais pelo desconhecimento da existência desse potencial geotermal do que pela falta de uma cultura de uso.

2 Aplicações das águas do Aquífero Guarani

Entre os vários usos das águas captadas do Guarani e as possibilidades de incrementar outras modalidades que favoreçam a implantação de empreendimentos na região de sua abrangência, têm-se basicamente o abastecimento público, o desenvolvimento de atividades industriais e agroindustriais e o desenvolvimento do turismo com a instalação de estâncias hidrotermais. A exploração do referido manancial torna-se possível também em função das condições de ocorrência e recarga da água, bem como dos meios técnicos e financeiros disponíveis para a perfuração de poços tubulares profundos.

2.1 Fonte de abastecimento público

Cidades de pequeno, médio e grande porte, localizadas na sua área de ocorrência, podem ser abastecidas com economia de recursos, dispensando tratamentos químicos convencionais para a sua potabilização e a construção de barragens; e economia em quilômetros de tubulações, uma vez que as obras de captação podem ser instaladas próximas às estações de distribuição. O uso para esta finalidade exige que a água encontre-se armazenada sob a condição doce *in natura*. Se não o for, a relação para reduzir a salinidade é uma mistura de aproximadamente 80% de água superficial, com 20% de água armazenada no Guarani.

2.2 Climatização de ambientes

Inclui tanto a refrigeração como a calefação. A calefação com fluidos termais tem uma ampla gama de aplicações, especialmente em escala individual. A refrigeração por meio da absorção do calor do recurso geotérmico tem se tornado muito popular mediante o uso de bombas de calor geotérmico, as quais, subterrâneas e acopladas ao terreno, são utilizadas tanto para a calefação como para a refrigeração. Podem ser climatizados os mais diversos ambientes, como residências, condomínios, hospitais, quadras esportivas, escolas, etc. (ROSA FILHO et al., 2000b). A exploração desses recursos geotérmicos poderá livrar do frio as mais importantes cidades interioranas da área do Guarani e proporcionar um grande reforço dos seus potenciais turísticos.

2.3 Desenvolvimento de atividades agroindustriais

A região do Aquífero Guarani tem uma vocação naturalmente agropecuária, com forte intenção de fixá-la mais consistentemente com a geração de empregos nas áreas interioranas. A utilização das águas termais desse aquífero na agroindústria pode promover o desenvolvimento desse setor. Tais aplicações são particularmente atrativas porque não requerem temperaturas muito elevadas (entre 37 e 65°C). Segundo Rosa Filho et al. (2000), entre as diversas aplicações dessa energia geotérmica no setor agroindustrial, destacam-se:

- ▶ Culturas em estufas (calefação de estufas): a calefação de estufas é a aplicação mais comum dos recursos geotérmicos na agricultura, com amplo desenvolvimento em muitos países. O cultivo de vegetais ou flores fora de estação, ou em clima artificial, pode apoiar-se em uma tecnologia amplamente experimentada. Atualmente dispõem-se de diversas soluções para alcançar as condições ideais de desenvolvimento, baseadas na temperatura ótima de crescimento para cada planta em particular.
- ▶ Proteção contra geadas, combinada com a irrigação: a aplicação das águas quentes do Aquífero Guarani, por inundação ou aspersão, é um dos métodos que pode combater geadas que atingem determinadas culturas. No Uruguai, calcula-se uma perda entre 15 e 20% nas produções agrícolas, em decorrência das geadas na zona norte. Situações similares se apresentam no sul do Brasil e no nordeste da Argentina. Pode ser uma solução para o retorno da cafeicultura no norte do Paraná e sul do Mato Grosso do Sul, garantindo a colheita anual e evitando as quebras de safra, como aconteceu nas décadas de cinquenta, sessenta e setenta.
- ▶ Irrigação: a irrigação utilizando as águas quentes do Aquífero Guarani pode assegurar uma produtividade elevada (com aumento de até 40%), a exemplo do arroz, cuja produtividade pode ser aumentada em até sete vezes, favorecendo a concentração da produção, orientação estratégica de colheita, encurtamento do ciclo produtivo, melhor seleção e padronização do produto, bem como maior rendimento industrial.
- ▶ Armazenamento e secagem de grãos: (temperatura requerida entre 37 e 65°C) em condições de armazenagem, em regiões úmidas, a qualidade dos grãos pode ser alterada pela ação da umidade, além de impossibilitar que estes sejam conservados por longos períodos, provocando ainda perdas que, para cereais e grãos leguminosos, são estimadas em mais de 15% ao ano (PUZZI, 1973 citado por ROSA FILHO et al., 2000). As águas quentes do Guarani utilizadas em sistemas de circulação podem reduzir a umidade relativa no interior dos armazéns que estocam os grãos e outros produtos agrícolas, de 95% para até 50%, possibilitando, assim, a secagem de grãos e o manejo desses produtos em longo prazo, sem prejuízo de qualidade e mantendo os preços entre os períodos de safras e entressafras. Mais especificamente na região

oeste do Estado do Paraná, a temperatura e a umidade relativa média anual oscilam em torno de 21°C e 70%, respectivamente. Os silos para a armazenagem de grãos durante longos períodos, nessa região, devem possuir uma umidade relativa do ar de aproximadamente 60%, de modo que os grãos possam manter uma umidade entre 8 e 13%, ideal para a sua conservação.

- ▶ Refrigeração de frutas e outros produtos agrícolas e alimentos em geral: refrigeração (limite de mais baixa temperatura).
- ▶ Evisceração e escaldagem de aves: as águas quentes do Guarani podem ser usadas na evisceração, escaldagem e depenagem de aves, proporcionando uma economia no aquecimento da água utilizada nesses processos que operam com temperaturas de 52 a 65°C (PINHEIRO, 1994 citado por ROSA FILHO et al., 2000). A avicultura é uma atividade bastante desenvolvida no sul do Brasil, destacando-se como líder de produtividade mundial, desempenhando significativo papel da exportação brasileira.
- ▶ Calefação de criadouros de animais: no âmbito da pecuária ou do desenvolvimento de espécies animais particulares, os ambientes com calefação e refrigerados em instalações de baixa altura contribuem para diminuir o índice de mortalidade de recém-nascidos, aumentar o grau de desenvolvimento, controlar o grau de enfermidades, facilitar o manejo e recoleção de resíduos, e na maioria dos casos melhorar a qualidade do produto.
- ▶ Aquicultura: consiste no cultivo controlado de organismos aquáticos. Na atualidade, essa atividade está ganhando importância em todo o mundo, devido à crescente demanda do mercado. Mantendo artificialmente uma temperatura ótima através dos fluidos termais, é possível criar uma maior diversidade de espécies, melhorar a produção e, em certos casos, duplicar o ciclo reprodutivo. Pode-se ainda utilizar as águas quentes do Guarani em regiões onde o desenvolvimento da aquicultura está limitado em produtividade, crescimento, conversão alimentar e no ciclo reprodutivo, devido às baixas temperaturas da água, principalmente nos períodos de inverno.
- ▶ Lavagem de carcaças de animais: nesses processos, a temperatura das águas oscila entre 37 e 65°C.
- ▶ Escaldamento e fervura de cascos, ossos e pelos de animais abatidos em frigoríficos que são vendidos para a fabricação de farinhas e pincéis.

Existem ainda inúmeras aplicações do uso direto de calor geotermal que podem ou não se adequar às características hidrotermais do Aquífero Guarani. Entre elas pode-se citar alguns exemplos: evaporação de soluções altamente concentradas; secagem de farinha de pescado; produção de fertilizantes; elaboração de produtos lácteos; esterilização; destilação; operações intensas de descongelamento; biodegradação (OEA, 2001).

2.4 Desenvolvimento de atividades industriais

Entre as principais aplicações dos fluidos termais no setor industrial, têm-se:

- ▶ Secagem de madeira: pode-se usar as águas quentes do Guarani para regular a temperatura do ar e a umidade relativa das estufas de madeiras, com o objetivo de aumentar a resistência contra a ação de fungos e insetos (ROSA FILHO et al., 2000).
- ▶ Secagem e desidratação de vegetais e frutas: constituem-se em usos industriais importantes que requerem temperaturas moderadas. Diversos produtos, tais como vegetais e frutas, são factíveis de serem desidratados mediante o uso de cintas transportadoras e secadoras que geram temperaturas de ar de 40 a 100°C. A secagem geotermal de alfaça, cebola, peras, maçãs e algas são exemplos desse tipo de uso direto (ROSA FILHO et al., 2000).
- ▶ Fermentação da cevada para a produção de cerveja: águas com temperatura de 40°C podem reduzir o custo na produção (REBOUÇAS e AMORE, 2002a).
- ▶ Produção de águas envasadas.
- ▶ Produção de metano: a produção do metano pode ser feita a partir de resíduos orgânicos líquidos e sólidos, intermediada por bactérias, que necessitam da manutenção de temperatura na faixa de 30 a 50°C. Uma área potencial para implementar esse aproveitamento é o oeste catarinense, onde a criação de aves e suínos produz grande quantidade de dejetos orgânicos. Naturalmente, esse processo pode ser aplicado em uma extensa região do Guarani, delimitada pelo limite de ocorrência de temperaturas superiores a 38°C (HAMZA et al., 1978 citados por CHANG, 2001).
- ▶ Climatização de chocadeiras e aviários: nesse processo, a temperatura requerida oscila entre 37 e 65°C.

No município de Santa Rosa, no Estado do Rio Grande do Sul, o Frigorífico Prenda utiliza as águas termais do Aquífero Guarani (José Luiz Flores MACHADO, comunicação pessoal, 2009).

2.5 Desenvolvimento do turismo hidrotermal

A instalação de centros de lazer hidrotermais e hidroterápicos representa uma forma de promoção de receita de expressivo significado econômico baseado no turismo termal, especialmente se bem distribuídas geograficamente (ROSA FILHO et al., 2000a). A natação e a balneoterapia constituem-se em um dos usos mais antigos e difundidos no mundo do recurso termal. Nos últimos anos, a indústria do turismo tem experimentado um grande crescimento

e dentro desta o “turismo da saúde” representa um importante setor.

Muitos são os exemplos de estabelecimentos de caráter privado, no Brasil, Argentina e Uruguai cujo ramo de atividade é o turismo hidrotermal.

Na Argentina, destacam-se os Complexos Turísticos Termais de Colón, Federación e Concórdia, nas cidades homônimas, cujas águas possuem temperatura média de 33,6; 43 e 46°C, respectivamente. Os complexos incluem várias piscinas e *spas*, áreas de recreação e descanso. O sucesso do Complexo de Federación criou um crescente interesse no turismo hidrotermal da Província de Entre Ríos.

No Brasil, a utilização das águas do Guarani no turismo hidrotermal vem sendo implementada nos últimos anos, verificando-se o desenvolvimento do turismo integrado - atrações típicas regionais e culturais expressivas em conjunto com o atrativo turístico hidrotermal, que pode ser recreativo e terapêutico dependendo das propriedades da água. Esse tipo de turismo integrado ocorre, principalmente, nos estados da Região Sul.

Nos complexos hidrotermais, cujas águas possuem propriedades medicinais, são oferecidos tratamentos baseados na hidrogeoterapia (uso de água e lama), mediante a prática de hidroterapia que pode ser por meio de banhos de imersão em banheiras e piscinas, e da lodoterapia com a aplicação da lama medicinal em regiões localizadas ou no corpo todo, que pode contar ainda com o processo de compressas e cataplasmas de lama aquecida com aplicação de calor artificial, em ambiente adequado.

A *hidro-geoterapia* é especial nos tratamentos de doenças reumáticas e nas doenças de pele e contribui para o melhor funcionamento do aparelho digestivo, biliar e dos sistemas neurológico e circulatório, entre muitos outros casos. Quando associadas com massoterapia e fisioterapia, apresenta excelentes resultados na recuperação física provocadas por sequelas resultantes de acidentes, infartos e derrames. O tratamento é sempre orientado por profissionais da área da saúde (médicos e outros).

No Estado de São Paulo, destacam-se os seguintes complexos hidrotermais:

- ▶ Balneário Mizael Marques Sobrinho (Águas de Santa Bárbara): o Parque das Águas é administrado pela Prefeitura Municipal. Água classificada como oligomineral, hipotermal, alcalina, fortemente bicarbonatada, cálcico-magnésiana e sulfatada, proveniente de um poço com profundidade de 368,30 m.
- ▶ Balneário Thermas da Noroeste (Araçatuba): águas com temperatura de 49°C; poço jorrante com profundidade de 969 m.
- ▶ Água Viva Thermas Clube Hotel (Fernandópolis): as águas brotam de uma fonte natural, a uma temperatura de 59°C abastecendo cinco piscinas.
- ▶ Blue Tree Park Lins (Lins): a água mineral e termal que abastece as piscinas do complexo foram descobertas em janeiro de 1960, decorrente de uma perfuração para pesquisa de petróleo na região. A profundidade do poço é de 3.459 m, com vazão espontânea de 180 m³/h, numa temperatura de 39,5°C. As águas apresentam

propriedades terapêuticas e são classificadas como água mineral, isotermal e alcalina bicarbonatada.

- ▶ Termas dos Laranjais “Clube Dr. Antonio Augusto Reis Neves” (Olimpia): águas vindas de um poço com profundidade de 2.557 m, com vazão de 180 m³/hora, perfurado pela Petrobras, na busca de petróleo e aproveitadas para a criação do clube.
- ▶ Termas de Paraguaçu Paulista (Paraguaçu Paulista): águas com propriedades terapêuticas e temperatura de 52°C, vindas de um poço com profundidade de 1.730 m, perfurado pela Petrobras, na busca de petróleo e aproveitadas a partir de 1987 para a criação do clube. O complexo termal foi o principal responsável pela elevação da pitoresca cidade de Paraguaçu Paulista à condição de Estância Turística, no ano de 1997, pelo governo do estado.
- ▶ Balneário Termas de Eptácio (Presidente Eptácio): precursor do turismo no município, o balneário possui uma fonte de águas quentes jorrando a 70°C, que abastece todo o complexo formado por cinco piscinas, cascatas, saunas e toboáguas.
- ▶ Balneário Municipal Termas de Prudente/SESC Termas Presidente Prudente (Presidente Prudente): águas com temperatura de 60°C provenientes de um poço com profundidade de 1.800 m. São águas bicarbonatadas e sulfurosas, com o teor de cerca de 100 mg/litro de enxofre e alta concentração de flúor, com propriedades terapêuticas. O balneário pertence à Prefeitura Municipal.
- ▶ Pousada e Termas Rio Preto (São José do Rio Preto): água mineral fluoretada, vanádica, litinada e hipertermal que chega à superfície com temperatura superior a 42°C. A pousada oferece, além das piscinas, banhos especiais com jatos subaquáticos de alta pressão.

No Estado do Paraná, o município de Foz do Iguaçu é o terceiro parque hoteleiro do país, que recebe turistas de diferentes regiões do mundo possui hotéis com aproveitamento hidrotermal do Guarani. Os complexos termais de destaque nesse Estado são:

- ▶ Estância Termas Iara (Bandeirantes).
- ▶ Termas Águas do Verê (Verê): abastecidas com água mineral a 36,5°C, direto da fonte.
- ▶ Aguativa Golf Resort S/A (Cornélio Procópio): águas com temperatura de 31°C, poço artesiano jorrante (sem bomba), com profundidade de 190 m e vazão de 160 m³/horas.
- ▶ Termas Internacional do Iguaçu (Foz do Iguaçu): águas com temperatura de 32°C, poço com profundidade de 843 m e vazão de 40 m³/hora.
- ▶ Mabú Termas & Resort (Foz do Iguaçu): águas com temperatura de 36,7°C na boca do poço, cuja profundidade é de 1.000 m, com vazão de 100 m³/hora.
- ▶ Hotel Bourbon (Foz do Iguaçu).

- ▶ Anila Thermas Hotel (Francisco Beltrão): águas com temperatura de 47°C, poço com profundidade de 1.470 m.
- ▶ Parque Aquático Termal de Itaipulândia (Itaipulândia): o parque pertence à Prefeitura Municipal e possui 70 mil m². Águas com temperatura de 40°C e 50°, poço com profundidade de 1.039 m.
- ▶ Termas de Jurema Resort Hotel (Iretama): águas com temperatura de 42°C e alto teor de sulfato de ação cicatrizante e sanitária, provenientes de dois poços com profundidades de 922 m e 1.264 m. O complexo oferece banhos de lama negra.
- ▶ Termas de Maringá (Maringá): águas com temperatura de 54°C, poço com profundidade de 1.200 m e vazão de 100 m³/hora.
- ▶ Balneário Termas de Londrina (Londrina): águas com temperatura de 51°C, poço com profundidade de 990 m.

Diante do desenvolvimento que o turismo das águas termais trouxe para o município de Piratuba no meio-oeste catarinense, tem-se verificado a consolidação de um “Polo de Turismo Hidrotermal” na região oeste de Santa Catarina e noroeste do Rio Grande do Sul, transformando-se num dos principais centros hidrotermais do sul do país.

No meio-oeste e oeste do Estado de Santa Catarina, destaca-se a “Rota das Termas”, que também faz parte da “Rota da Amizade”. A “Rota das Termas” oferece, além das belas atrações, fontes de águas termais (acima de 30°C) classificadas como alcalinas bicarbonatadas-cloro-sulfatadas, com propriedades medicinais. A “Rota das Termas” é composta pelos municípios de Treze Tílias, Piratuba, Itá, Chapecó, Águas de Chapecó, São Carlos, Palmitos, Caibi, São João do Oeste e Quilombo, com os seguintes complexos hidrotermais:

- ▶ Parque Termal Piratuba (Piratuba): administrado pela Companhia Hidromineral de Piratuba, empresa de economia mista, o complexo termal de Piratuba inclui um parque hoteleiro, oito piscinas públicas abastecidas por um único poço com profundidade de 674 m. A temperatura média da água é de 38,6°C. O parque conta ainda com uma clínica de tratamento à base de argila.
- ▶ Complexo Turístico Termas Itá: numa área de 95 mil m², fazem parte do complexo o Parque Termas Itá, com 16 piscinas. Águas tem temperatura variando entre 32 a 34°C, com propriedades terapêuticas.
- ▶ Estância das Águas (Chapecó): o balneário conta com um conjunto de 5 piscinas com água quente natural mineral e sulfurosa com temperatura de 43°C, vinda de um poço com 1.200 m de profundidade e vazão de 120 m³/h.
- ▶ Balneário Águas de Chapecó (Águas de Chapecó): o complexo do Parque Hidroeste é abastecido com águas minerais vindas de fontes com temperatura média de 37°C, com propriedades terapêuticas. O balneário é administrado pela Companhia Hidromineral do Oeste Catarinense (Hidroeste) pertencente à Prefeitura Municipal. Há uma piscina de lama, também com propriedades medicinais.

- ▶ Companhia Hidromineral de Águas da Prata (São Carlos): moderno balneário com quatro piscinas abastecidas pelas águas minerais com propriedades terapêuticas provenientes de um poço com 80 m de profundidade, com temperatura variando entre 37°C e 40°C, e vazão de 28,5 m³/h.
- ▶ Balneário Thermas de Ilha Redonda (Palmitos): a água mineral do complexo balneário é levemente radioativa. A fonte principal é um poço surgente com vazão de 50 m³/h, a uma temperatura média de 38°C. Mais três poços, de menor vazão, ajudam a abastecer o balneário, que oferece também tratamento com lama medicinal.
- ▶ Centro Hidromineral de Quilombo (Quilombo): as piscinas e banheiras especiais do balneário municipal são abastecidas por águas minerais e com propriedades medicinais, com temperaturas entre 32°C e 38°C, provenientes de um poço com profundidade de 75 m no basalto, com águas ascendentes do Guarani.

No Estado do Rio Grande do Sul, as cidades que utilizam as águas quentes do Aquífero Guarani estão incluídas nas rotas turísticas “Rota das Águas e Pedras Preciosas” (municípios de Iraí e Vicente Dutra) e a “Rota Termas e Lagos” (municípios de Marcelino Ramos, Três Arroios e Erechim) da “Região Turística Hidrominerais”, no extremo norte do Estado. A região oferece o contato com a natureza, o brilho das pedras preciosas, a pureza das águas minerais e termais e a lama negra medicinal, aliados à diversificada gastronomia e à cultura dos imigrantes que colonizaram a região. Na Serra Gaúcha, os municípios de Protásio Alves, Nova Prata, Vila Flores, Veranópolis e Cotiporã compõem o “Roteiro Thermas da Longevidade” no conceito do turismo hidrotermal, e o município de Machadinho na “Rota das Araucárias”. Nesse estado, destacam-se os seguintes complexos hidrotermais:

- ▶ Balneário Osvaldo Cruz (Iraí): construído sobre uma fonte, da qual jorra água mineral termal, alcalina, radioativa, bicarbonatada-cloro-sulfatada, com propriedades medicinais, com vazão de 3,8 L/s e temperatura de 36,5°C. O balneário oferece o tratamento crenoterápico (banhos em água mineral) e lamaterapia, entre outros. O balneário pertence e é administrado pela Prefeitura Municipal.
- ▶ Termas Minerais Águas do Prado/Balneário Municipal Vicente Dutra (Vicente Dutra): o município surgiu com a descoberta de uma fonte de água termo-mineral com propriedades medicinais, com temperatura de 36°C. O balneário oferece a hidroterapia e tratamento com lodo sulfuroso.
- ▶ Estância Hidromineral das Águas da Cascata ou Cascata Nazzari (Camping da Cascata Sepe Tiaraju/Erechim): balneário com poço que atinge 700 m e temperatura da água de 32°C.
- ▶ Termas de Marcelino Ramos (Marcelino Ramos): a construção do balneário teve início em 1970/71 e é administrado pela Companhia de Águas Termais de Marcelino Ramos (TERMASA), empresa de economia mista. O poço que abastece o complexo possui 2.590 m de profundidade e foi perfurado pela Petrobras em busca de petróleo, porém encontraram-se águas sulfurosas termais a uma profundidade de 535 a 682 m. A vazão atual é de 90 m³/h e a temperatura das águas, que apresentam

propriedades terapêuticas, é de 39°C.

- ▶ Termas de Três Arroios (Três Arroios): água termal sulfurosa.
- ▶ Complexo Hidrotermal Caldas de Prata (Nova Prata): o Parque de Águas Termais Caldas de Prata, com mais de 300 mil visitantes no período de cinco anos de atividades, possui águas com propriedades medicinais e temperatura de 41°C. O parque possui o Poço da Aventura, com 636 m de profundidade e vazão de 25 m³/hora, e o Poço Santa Bárbara, com 714 m de profundidade e vazão de 40 m³/hora. As suas águas são classificadas como sulfatadas, litinadas, fluoretadas e vanádicas.
- ▶ Parque Aquático Thermas Machadinho (Machadinho): construído pela Prefeitura Municipal, em 2001 teve início a construção do poço profundo tubular e em abril de 2004 o parque termal deu início às suas atividades. As águas chegam à temperatura de 45°C e são aplicadas na hidroterapia.

Ainda, no estado gaúcho, existem perfurações que alcançam o Guarani, mas nem todos os empreendimentos estão em funcionamento, como, por exemplo, os poços de Aratiba (águas com temperatura de 30°C, perfurado pela CPRM); Cotiporã (águas com temperatura de 30°C, perfurado pela Secretaria de Desenvolvimento e Obras - SDO/RS); Caxias do Sul (termal, perfurado pelo Departamento de Comandos Mecanizados - DCM/RS) e Veranópolis (termal, perfurado pelo Departamento de Comandos Mecanizados - DCM/RS, propriedade da Prefeitura Municipal) (José Luiz Flores MACHADO, comunicação pessoal, 2009).

No Estado de Minas Gerais, o destaque é para o Parque Aquático Ubatã Termas, localizado próximo ao município de Conceição das Alagoas, no Recanto das Águas. No Estado de Goiás, no município de Lagoa Santa, destacam-se o Hotel Termas Lagoa Santa e o Baneário Akira (dois poços com profundidades de 155 m e 156 m) (Valter Galdiano GONÇALES, comunicação pessoal 2009).

No noroeste do Uruguai, as termas de Paysandú e Salto (Arapey, Dayman e Guaviyú) representam o segundo polo turístico do país, sendo que somente nessas duas “termas” é produzida uma receita de aproximadamente 130 milhões de dólares/ano.

Diante do grande potencial hidrotermal do Guarani, as regiões norte e oeste do Paraná, oeste de Santa Catarina, e noroeste do Rio Grande do Sul, integradas às regiões leste da Argentina e noroeste do Uruguai, poderão ser de fundamental importância para o desenvolvimento de centros turísticos termais, convertendo-se no principal “corredor hidrotermal” do Mercosul.

3 Ações recomendadas no uso do Aquífero Guarani

Devido à notável diferença no uso das águas do Guarani entre os países que compartilham do recurso, fica evidente que as necessidades do Brasil, com relação ao aquífero, referem-se mais à proteção e manejo sustentável desse recurso, enquanto que os demais países necessitam desenvolver pesquisas para melhor conhecer o sistema em seus territórios (OEA, 2001).

Essas lacunas de conhecimento ocorrem, porém, nos quatro países envolvidos. No Paraguai, elas são praticamente idênticas às da Argentina, no que se refere ao limite oeste do aquífero, com o agravante de escassez de levantamentos geofísicos. Ainda na Argentina, a falta de dados exatos sobre as condições de ocorrência do aquífero foi compensada por levantamentos de sondagens geolétricas verticais, que contribuíram bastante no conhecimento atual na região, inclusive na definição da interface água doce-salgada. No Uruguai, há necessidade de um detalhamento dos fluxos subterrâneos, das condições de recarga natural e riscos de contaminação nas áreas de afloramento do aquífero, dos volumes exatos da extração pelos poços, condições de temperatura, estudos de radioisótopos, entre outros (MENTE, 2001).

Além dos estudos de conhecimento das características do Guarani, muitas outras averiguações devem ser feitas para determinar o seu real potencial e o correto gerenciamento na utilização desse manancial, tornando-o viável economicamente e sustentado, tais como (OEA, 2001):

- ▶ Identificação de zonas com termalismo e sua incidência em diferentes atividades produtivas.
- ▶ Identificação de zonas termais mais adequadas ao turismo termal, em função da temperatura e qualidade das águas que são mais apropriadas em tratamentos médicos, banhos, massagens hidrotermais e tratamentos de beleza.
- ▶ Identificação das áreas com potencial de produção hortifrutigranjeira, combinando dados dos solos e clima com as temperatura das águas.

- ▶ Identificação das áreas mais apropriadas para a implantação de projetos construtivos de poços, levando-se em consideração as particularidades de cada região e dos caudais que se desejam extrair.
- ▶ Análise dos aspectos econômicos que influenciam na exploração dos recursos hídricos termais, alternativas com opções técnicas que gerem maior benefício a mínimo custo.
- ▶ Identificação dos impactos ambientais que, eventualmente, podem ocorrer pela possível presença de sais e resíduos nas águas termais e por temperaturas superiores a dos ecossistemas preexistentes.
- ▶ Necessidade de transferência tecnológica entre os países do Aquífero Guarani e outros, como forma do melhor aproveitamento desse recurso, uma vez que não existe na área uma cultura de aproveitamento da água termal e suas distintas aplicações no desenvolvimento socioeconômico.

O cenário de uso das águas do Aquífero Guarani para 2025 deve apresentar um incremento substancial no consumo, em função do crescimento populacional e da produção de bens. Esse aumento deverá provocar uma maior participação das águas subterrâneas em relação às superficiais no consumo geral. Pequenas alterações, com relação aos tipos de uso corrente, deverão ocorrer, com o incremento do uso rural, em função das pressões de mercado que exigem, cada vez mais, maior produtividade no campo (CHANG, 2001). Em termos de países, o uso do Guarani pode-se qualificar de limitado em relação à recarga natural e as expectativas de incremento de uso nos próximos 25 anos não afetarão a sustentabilidade do recurso na mesma escala. Sem dúvida, à medida que a análise adquire maior detalhamento, evidenciam-se regiões de conflito, por exploração intensiva localizada, como é caso de Ribeirão Preto, em São Paulo (CALCAGNO, 2001).

Uma das principais preocupações existentes com relação à exploração futura das águas do Guarani é o risco de deterioração do aquífero, em decorrência do aumento dos volumes explorados e do crescimento das fontes de poluição pontuais e difusas (ARAÚJO et al., 1995), gerando a necessidade, desde agora, de se implementar políticas de gerenciamento e de proteção desse recurso. As suas áreas de recarga direta ou afloramentos que ocupam uma grande extensão territorial merecem especial atenção pelo risco que oferecem para a água subterrânea, já que favorecem muito a infiltração da água das chuvas até a zona saturada, principalmente pela ausência de obstáculos como pacotes rochosos ou materiais de baixa permeabilidade (EMBRAPA, 2002).

O uso descontrolado do Aquífero Guarani sem regulamentação poderá mudar o seu atual *status* de reserva estratégica de água potável para população no Cone Sul, para um foco de degradação generalizado e conflitos de uso entre os países (ÁGUAS & ÁGUAS, 2003). Esse *status* de reserva estratégica de água potável deve ser compreendido que não é aplicável para toda a região de ocorrência do aquífero, mas apenas para as áreas onde o seu confinamento é incipiente.

A construção de poços, sem a devida regulamentação e cadastramento em cada região, impossibilitará a escolha do tipo de projeto de construção mais eficiente e o controle para o uso racional do Guarani.

Em breve, a “hidrodiplomacia” poderá ser um dos temas mais importantes no mundo. Em uma humanidade que se projeta “sem fronteiras”, os cursos e corpos de água foram, no passado, usados como fronteiras. Atualmente esses cursos e corpos de água devem ser objetos de acordos em larga escala, os quais ajudem a viabilizar seu uso correto e seu controle pela sociedade. Nesse caso estão os diversos aquíferos que cruzam fronteiras, entre eles, em algumas regiões, o Aquífero Guarani, pois ele só é transfronteiriço onde existe realmente conexão hidráulica do reservatório subterrâneo, não sendo o caso para toda a região de ocorrência.

É importante destacar que diversos países têm diferentes medidas de proteção ambiental. Isso implica que as indústrias dos países que têm normas rigorosas possam perder competitividade e mercados em relação a outras de outros países com normas menos rigorosas. O mesmo pensamento é válido para a exploração de um recurso transfronteiriço, como o Guarani (onde ele apresenta conexão hidráulica), com o agravante de que a sua exploração sem critérios pode afetar o potencial quantitativo e qualitativo de suas águas, sendo que os enfoques quanto à proteção do aquífero deverão ser feitos sob esses dois aspectos. Para as áreas de surgências, o critério será o de manter o nível de pressão do Guarani sem causar reduções na produção das fontes naturais. Nas áreas onde aflora o aquífero, deverão ser estabelecidas zonas de proteção, em função dos tempos de transferência (zona não saturada e saturada), que determinarão a susceptibilidade do aquífero em ser afetado por um determinado contaminante.

Esse agravante poderia ser solucionado dentro do princípio da negociação de políticas ambientais equiparáveis, adotada na Comunidade Econômica Europeia (CEE). Isso acarreta a elaboração de normas mínimas comuns nas questões ambientais, para produtos e processos de produção.

No período compreendido entre maio de 2003 e janeiro de 2009, os quatro países de abrangência do aquífero em questão executaram o Projeto de Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. O processo de execução do Projeto permitiu aprofundar o conhecimento técnico, desenvolver instrumentos de gestão específicos e um Programa Estratégico de Ação, direcionado ao fortalecimento das capacidades institucionais, da participação pública e da cooperação regional para a gestão sustentável do aquífero. Permitiu, ainda, uma maior aproximação dos gestores técnicos dos quatro países, principalmente das universidades e dos governos, oportunizando a geração de bibliografia científica com importância para as futuras políticas de utilização racional dos recursos do Guarani, além do *marketing* criado sobre ele.

Em 2008 foi elaborado o Informe Final de Hidrogeologia do Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani pelo Laboratório de Estudos de Bacias - LEBAC, pertencente ao Departamento de Geologia Aplicada - DGA, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Rio Claro. Consórcio Guarani: Tahal Consulting Engineers

Ltd., Seinco S.R.L., Hidroestructuras S.A., Hidrocontrol S.A., Hidroambiente S.A. que por meio dos resultados alcançados no avanço do conhecimento sobre o Aquífero Guarani e seu funcionamento hidráulico conclui que diversas dúvidas ainda permanecem devido principalmente à falta de dados e informações em áreas com pequena concentração de poços e, portanto, recomenda, entre outros:

- ▶ A conscientização dos gestores de recursos hídricos que, sem conhecimento, não é possível o estabelecimento de políticas de gestão e de proteção aos recursos hídricos subterrâneos e, no caso destas águas, poços são a única fonte direta de observação e conhecimento. Portanto, é necessário que o máximo de informações sejam obtidas em novas perfurações, como perfilagens elétricas, ensaios de bombeamento, amostragem de calha, entre outras.
- ▶ O estabelecimento de uma rede de monitoramento piezométrico regional, em poços onde não é feito o bombeamento, para a verificação da influência, em escala regional, das taxas de exploração exercidas sobre o sistema aquífero, e o comportamento dos níveis de água sazonalmente, permitindo aos gestores a definição de políticas e das taxas de bombeamento a serem aplicadas.
- ▶ A realização de estudos de balanço hídrico em pequenas bacias, tanto nas áreas definidas como sendo de recarga ou de descarga, com a utilização de métodos de medição acurados, pode solucionar o problema da definição dos volumes de recarga que adentram ao sistema aquífero, bem como a definição dos volumes de descarga que o deixam, fornecendo parâmetros que permitam a regionalização destes cálculos para todas as áreas de recarga/descarga, associando-as às principais características dessas áreas, uma vez que os volumes estabelecidos pelo projeto tiveram resultados insatisfatórios.
- ▶ Cautela na exploração do Aquífero Guarani, na porção central da Bacia do Paraná, uma vez que dados isotópicos indicam águas com idades maiores que 20.000 anos, refletindo uma reposição muito lenta da água, indicando que o maior potencial está realmente associado às faixas próximas às zonas de afloramento e recarga do Aquífero Guarani.

Atualmente, na opinião dos autores deste livro, fazem-se necessárias ações concretas nas questões relacionadas à legislação e normas específicas de utilização racional dos recursos do Guarani. Essas ações deverão ser discutidas dentro do fórum comum, ou seja, o Mercosul, focadas principalmente nos seguintes itens:

- ▶ Uso racional e desenvolvimento sustentável com viabilidade socioeconômica e ambiental, para o abastecimento público, agronegócio, indústria e turismo termal.
- ▶ Implantação de uma rede integrada de monitoramento dos recursos hídricos do Guarani, visando ao intercâmbio das informações, o controle e a gestão compartilhada desse recurso.
- ▶ Implantação de um sistema integrado de responsabilidade socioambiental pela utilização dos recursos hídricos do Guarani.

Os autores acreditam ainda serem necessárias iniciativas de massificação da informação para esclarecer o grande público sobre a importância do uso estratégico desses recursos, visando à conscientização sobre o seu potencial e exploração racional, de forma a assegurar o desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental. Porém, isso somente será efetivado com um prévio esforço para promover o acesso amplo e irrestrito das populações à educação básica. Sem esta última, não há como promover o uso sustentável dos recursos naturais (hídricos), principalmente em um cenário de dificuldades econômicas e desigualdades sociais, como o caracterizado nos países abrangidos pelo Aquífero Guarani. Sendo assim, os autores sugerem a realização de uma “campanha permanente de conscientização do uso racional e preservação dos recursos hídricos” com o respaldo da educação ambiental básica.

Dada a importância que a utilização sustentada dos recursos hídricos terá para todas as nações, em futuro nada distante, sugere-se que o tema torne-se obrigatório como inserção em todas as disciplinas da grade curricular das redes públicas e privadas de ensino infantil, fundamental e médio, com conteúdo teórico e prático voltado ao uso consciente da água e o direito de todos à água potável, evitando-se o desperdício e a degradação desse recurso.

Mas talvez os aspectos mais importantes estejam relacionados à relação das empresas, industriais ou rurais, maiores usuários dos recursos aquáticos.

Depois da expansão dos conceitos relativos à responsabilidade social das empresas, será a vez da consolidação da responsabilidade ambiental como parte do modelo de gestão empresarial no Brasil e quiçá nos demais países do Mercosul.

Cumprir a lei não será mais a única questão. O interessante será ir além, abraçando causas como recuperação de áreas degradadas, implementando projetos de biorremediação ambiental, patrocinando programas de educação ambiental, só para citar alguns. Neste contexto, a água será um dos principais temas a ser trabalhado.

Um exemplo claro desse conceito foi vivenciado no município de Cubatão, no Brasil. Até a década de 80, as indústrias da região lançavam no ar quase uma tonelada de poluentes todos os dias. Mangues e rios recebiam uma carga ainda maior de poluentes. O ecossistema original foi completamente devastado; plantas e animais sumiram da região; moradores tiveram que ser removidos devido ao risco de contaminação. A região ficou conhecida como o Vale da Morte. Duas décadas depois, após as empresas e o poder público se unirem para resolver o problema, o nível de poluição foi reduzido em cerca de 98%, segundo estimativas da prefeitura e o município quer agora se transformar em um modelo de polo empresarial ambientalmente responsável.

O ideal é que ações de responsabilidade ambiental sejam adotadas por livre iniciativa das próprias empresas, sem a intervenção direta e centralizadora dos governos, para que os projetos e programas possam ser implantados de forma mais diversificada e efetiva. Já está mais

do que comprovado que os recursos arrecadados com a criação de impostos e taxas raramente são investidos naquelas áreas que justificaram a sua criação. Por outro lado, a implantação de um sistema de gestão ambiental otimizado passa a ser, cada vez mais, elemento de destaque na cultura organizacional das empresas e um fator determinante para negociações internacionais dos seus produtos e serviços. Tais características podem, se bem direcionadas, ser aplicadas em prol da conservação dos recursos hídricos.

O poder público pode até impor compulsoriamente a adoção de políticas ambientais, que, no entanto, tendem a apresentar eficiência nula, pois jamais conseguirá impor uma consciência ecológica compulsória entre os usuários da água. Tal consciência precisa ser desenvolvida criativamente como um compromisso interior de todas as empresas e cidadãos, pois as pessoas se empenham mais para assegurar o sucesso de um esforço que elas próprias tenham ajudado a moldar.

Como sugestão, os autores recomendam a criação de um “Comitê Gestor do Guarani”, que poderia fiscalizar e orientar as empresas e governos na implantação das ações voltadas à utilização racional dos recursos hídricos e do Aquífero Guarani. Tal comitê deveria ser formado por representantes da sociedade civil dos quatro países, com apoio dos governos locais, na qualidade de membros consultivos, mas não como membros executivos do Comitê.

Seria da competência desse Comitê a elaboração de um “Plano de Utilização Racional dos Recursos Hídricos do Aquífero Guarani” e a orientação aos usuários na implantação de obras sociais e ambientais na região onde se localiza o seu empreendimento e na recuperação ambiental (no caso de haver poluentes e degradação). O Comitê poderia também:

- ▶ Desenvolver e implementar meios de motivação dos principais usuários dos recursos hídricos em relação às vantagens da administração com consciência ambiental.
- ▶ Divulgar e promover eventos e programas.
- ▶ Promover intercâmbio e interações internas e externas.
- ▶ Determinar as estratégias, prioridades e ações da política ambiental relativa ao Aquífero Guarani.
- ▶ Examinar e solucionar problemas, encaminhar propostas e aprovar projetos envolvendo a temática ambiental.
- ▶ Criar e patrocinar o lançamento de prêmios para a gestão ambiental.
- ▶ Encontrar especialistas qualificados para palestras e para o desenvolvimento de soluções ambientais.
- ▶ Conduzir pesquisa sistemática para identificar as áreas críticas ambientais onde é mais necessário agir com urgência.

Várias são as possibilidades de engajamento das empresas em uma proposta como essa, por exemplo:

- ▶ Programa Empresa Sustentável: voltado ao estabelecimento e valorização da imagem corporativa e dos ideais de sustentabilidade encampados pela empresa, em um modelo de desenvolvimento que seja ambientalmente sustentável, socialmente justo e economicamente viável.
- ▶ Programa Empresa Ambiental: voltado à inovação e à eliminação de desperdícios de recursos naturais, seja na concepção de produtos, no projeto e operação de processos, na busca da ecoeficiência e da sustentabilidade. O importante deste modelo é que a empresa aja de forma proativa, incentivando o seu corpo funcional a participar das soluções e que essas estejam associadas à otimização dos resultados e à adoção de indicadores explícitos de ecoeficiência.
- ▶ Projeto Empresa Integrada: voltado à implantação de uma política ambiental na empresa na forma de rede, com representantes ambientais voluntários em cada departamento e um gerente coordenador em cada unidade da empresa, integrando as práticas, projetos e compromissos ambientais, garantindo unidade política dentro de uma ação planejada por meio da implantação de Sistema de Gestão e Informação Ambiental (SIGA), com auditoria ambiental permanente, estabelecendo as condições para a certificação das unidades da Empresa com a série ISO 14.000.
- ▶ Projeto Empresa Responsável: voltado à implantação de projetos de educação ambiental, direcionados à formação da cidadania ambiental participativa dos alunos das escolas vizinhas às unidades da empresa, associando sua imagem a projetos de interesse público, socioambiental, com ênfase na educação ambiental das novas gerações. A Empresa Responsável também se comprometeria com o estabelecimento de canais de comunicação com a sociedade, informando, de forma transparente, as suas ações comunitárias e ambientais.

Qualquer que seja a modalidade a que a empresa esteja engajada, ela deverá buscar a otimização das suas ações ambientais e sociais, para que isso não implique em aumento despropositado de custos. Para isso, as ações poderão ser adotadas em parceria com outras empresas, ONGs, instituições, universidades, prefeituras, comunidades e, principalmente, com o próprio Comitê Gestor do Guarani.

Pela proposta, o usuário contribuiria para o desenvolvimento socioeconômico da sua região de investimento, com a geração de empregos e com obras sociais que, apesar de serem da competência do Estado, não o excluem de sua responsabilidade social e ambiental. Para facilitar sua implantação, o programa poderia ser iniciado com os grandes usuários das

águas do Aquífero Guarani e, após a implantação das bases para o desenvolvimento de uma mentalidade voltada para a responsabilidade ambiental, o programa seria estendido para os demais usuários.

Contudo, a implantação de propostas que contemplem os interesses do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai sobre a utilização do Aquífero Guarani proporcionará, de forma sustentada, o gerenciamento dessa reserva hídrica. Esse “passo” representa um avanço significativo na cooperação e na própria consolidação do acordo do Mercosul.

A integração das águas

5

Considerações Finais

Considerações Finais

O acesso seguro e sustentável à água – a segurança hídrica no seu sentido mais vasto – é uma condição para o desenvolvimento humano (PNUD, 2007).

Vivenciamos a cada dia a degradação do meio ambiente - vivemos num mundo desafiado pelo efeito estufa, pelo desmatamento das florestas, pela poluição do ar, do solo e das águas. Essa degradação é agravada, anualmente, quando 80 milhões de pessoas são adicionadas ao número total da população mundial, reclamando seus direitos sobre os recursos naturais da Terra.

O desenvolvimento industrial, a urbanização e a necessidade de água de irrigação para alimentar uma população em crescente número, estão exercendo imensa pressão sobre os recursos hídricos, representando uma ameaça para o desenvolvimento humano. Esta pressão reflete no estresse ecológico, pois o volume hídrico restante para a manutenção dos ecossistemas tem-se tornado cada vez menor, levando muitos deles ao colapso. Essa é a herança que será deixada para as gerações futuras.

Os efeitos causados pelas alterações climáticas serão somados a esta pressão hídrica, gerando um forte impacto na distribuição da água do planeta, provocada pelas mudanças nos padrões de escoamento e na crescente evaporação da água. Os cenários das alterações climáticas apontam para um aumento dos fluxos hídricos a curto prazo, seguido de uma aridez a longo prazo.

Os glaciares funcionam como extensos tanques de água, armazenando água e neve em forma de gelo, e liberando o conteúdo durante o verão. Esse caudal sustenta os sistemas fluviais que constituem a fonte de subsistência de muitos sistemas ecológicos e agrícolas. À medida que os reservatórios glaciares se esgotam, os caudais diminuem. O degelo glacial apresenta ameaças para mais de 40% da população mundial. Sete dos grandes sistemas fluviais da Ásia – Brahmaputra, Ganges, Amarelo, Indo, Mekong, Salwin e Yangtze – serão afetados pelo rápido degelo glacial criando alguns riscos imediatos para o desenvolvimento humano, uma vez que

estes sistemas fluviais fornecem água e garantem o abastecimento de alimentos para mais de 2 bilhões de pessoas (PNUD, 2007).

Portanto, já não é mais inconcebível acreditar que o mundo caminha para um déficit hídrico, quando 70% do planeta está coberto por águas. Quando pensamos que o planeta dispõe da mesma quantidade de água (praticamente a mesma de há 3 bilhões de anos) para um número cada vez maior de pessoas e que essas mesmas pessoas poluem os rios, e desviam excessivamente a água dos mesmos e dos aquíferos para a agricultura, secando o curso daqueles e diminuindo o nível de água desses, começamos a ter uma noção de que a água não é um recurso infinito e inesgotável.

Além disso, nos deparamos com a irregularidade na disponibilidade (distribuição) dos recursos hídricos em todo o planeta, condicionada ainda pelas características socioeconômicas de cada região, ou seja, nem sempre abundância de água significa acesso da mesma em qualidade e quantidade para a população. Em muitas regiões do mundo a baixa disponibilidade de água quase nada tem a ver com escassez de água. A Indonésia, por exemplo, possui uma disponibilidade natural de água superior a 13.000 m³ por pessoa; entretanto, um quarto da sua população não tem acesso à água potável, na Etiópia, no leste da África, em 2003, mais de 12 milhões de pessoas enfrentaram a fome, numa terra sedenta de água, mesmo tendo 84% da vazão do Rio Nilo fluindo por seu território (ESTADO DO MUNDO, 2004). Isso significa que um governo com influência do poder, da política e do dinheiro pode levar água para sua população, mesmo numa região com escassez natural de água; já um governo sem poder e sem dinheiro pode levar à privação de água, mesmo numa região de grande riqueza hídrica.

Observa-se, ainda, em muitas regiões do mundo todo, que aqueles que consomem mais água pagam menos, e aqueles que pouco consomem, pagam mais. Populações urbanas de baixa renda e pobres, não-conectadas à rede, frequentemente são forçadas a recorrer a suprimentos alternativos e caros, como vendedores de água, que podem cobrar muitas vezes mais do que usuários pagam pela água encanada. As pessoas que vivem nos bairros degradados de Jacarta (Indonésia), Manila (Filipinas) e Nairobi (Quênia) pagam 5 a 10 vezes mais por água e por unidade do que as que vivem nas zonas de elevado rendimento das suas próprias cidades – é mais do que pagam os consumidores em Londres ou Nova Iorque (PNUD, 2006).

O mercado mundial de água envasada se contrapõe à condição de precariedade ao acesso de água potável que gera graves riscos de saúde pública que milhões de pessoas enfrentam nos países do terceiro mundo. Essa comparação realça as disparidades existentes no acesso a água potável e à água mineral engarrafada em particular. Os 25 bilhões de litros de água mineral consumidos anualmente pelas famílias dos EUA ultrapassam o consumo total de água potável de 2,7 milhões de pessoas no Senegal que não têm acesso a uma fonte de água tratada. Os alemães e os italianos consomem, entre si, água mineral em quantidade suficiente para cobrir as necessidades básicas diárias de mais de 3 milhões de pessoas no Burquina Faso (PNUD, 2006).

À medida que os lençóis freáticos caem, os fazendeiros devem perfurar cada vez mais fundo e comprar bombas mais potentes para trazer a água à superfície. Os pobres não podem pagar por essa tecnologia e acabam arrendando suas terras aos grandes proprietários de poços, tornando-se trabalhadores nessas fazendas maiores. Outras vezes veem-se obrigados a vender sua propriedade e migrar para os centros urbanos, inchando mais ainda as periferias das grandes cidades. Portanto, a crescente pressão pela transferência de água da agricultura para a indústria ameaça aumentar a pobreza rural, uma vez que a água é um recurso produtivo vital para os pequenos agricultores (dependentes da agricultura de subsistência), que representam mais de metade da população mundial, indicando que a escassez hídrica está intimamente relacionada com as desigualdades sociais e contribui para que essas se intensifiquem mais, principalmente nos países em desenvolvimento (PNUD, 2006).

Por outro lado, seguramente, é possível afirmar que a escassez hídrica também significa escassez alimentar, pois o principal insumo da agricultura irrigada é a água e à medida que esta é desviada para a demanda exigida pelas cidades e indústrias, provoca-se a perda da capacidade de produção de alimentos, tornando as nações mais dependentes da importação de grãos e, como consequência elevando os preços no mercado internacional. Mesmo assim, a importação de grãos tem se tornado uma forma eficiente de importar água, uma vez que 1 (uma) tonelada de grãos representa mil toneladas de líquido, e esta água pode ser desviada para usos domiciliares e industriais. Por outro lado, uma tonelada de água utilizada na indústria gera, aproximadamente, em produção – cerca de 70 vezes o lucro auferido pelo mesmo volume de água utilizada para cultivo de grãos (ESTADO DO MUNDO, 2000), e o desvio da água da agricultura para a indústria em países que buscam o crescimento econômico torna-se uma opção óbvia.

A degradação de mananciais tem tornado o processo do tratamento convencional insuficiente para assegurar os padrões de potabilidade definidos pelas normas de saúde pública, principalmente nos grandes sistemas das regiões metropolitanas e as novas alternativas para suprir a sede da humanidade são cada vez mais caras. As indústrias geram grandes volumes de água servida, e nos países em desenvolvimento grande parte destes continua sendo despejada, sem tratamento, em rios e córregos vizinhos, poluindo o pouco que resta de água potável. As indústrias de alimentação e bebidas, celulose e papel e têxtil são responsáveis por mais de 3/4 das cargas poluentes da água nos países em desenvolvimento.

Um número crescente de cidades está recorrendo à água do mar dessalinizada ou água salobra como prevenção à futura escassez hídrica. Esse processo concentra-se, principalmente, no Golfo Árabe e Oriente Médio, nos países ricos em petróleo. Em 2004, existiam cerca de 9.500 usinas de dessalinização em todo o mundo, com uma capacidade instalada estimada de 11,8 bilhões de metros cúbicos por ano – 0,3% do atual consumo mundial. As necessidades energéticas quanto aos custos da dessalinização vêm caindo com a melhoria das tecnologias, e a capacidade mundial desse processo está se expandindo a uma taxa anual de cerca de 11%. Porém, em termos unitários, a maioria das medidas de conservação e eficiência pode atender às novas necessidades hídricas a 10–25% do custo de produção de água dessalinizada, não fazendo sentido dessalinizar o mar e, no processo, lançar mais gases de estufa na atmosfera,

quando a redução de desperdícios e o aumento da eficiência poderão suprir água com melhor custo-benefício e menor dano ecológico (ESTADO DO MUNDO, 2004).

O alto número de rios compartilhados por dois ou mais países, combinado com uma escassez hídrica cada vez maior para populações crescentes, leva muitos políticos e cientistas a alertar para um futuro de “guerras hídricas.” A situação é agravada quando se observa a grande disparidade de renda na população, entre a nascente e a foz, como acontece ao longo dos rios Nilo e Amarelo. No quadro 5.1 encontram-se listadas as áreas mais críticas no conflito hídrico.

QUADRO 5.1 – ÁREAS CRÍTICAS NA DISPUTA PELA ÁGUA

REGIÃO	PAÍSES ENVOLVIDOS	CONFLITO
Mar de Aral	Casaquistão, Quirguistão, Tadjiquistão, Turquemenistão e Uzbequistão	disputa da água para a irrigação
Ganges	Bangladesh, Índia e Nepal:	as pressões sobre o rio Ganges estão diminuindo a sua vazão e ele tem sido objeto de conflito, principalmente entre Índia e Bangladesh.
Jordão	Gaza, Israel, Jordânia, Líbano, Síria (marg. ocid.)	os libaneses acusam Israel de ter represas sobre o rio, cuja população consome 4 vezes mais água que seus vizinhos palestinos. Em 1967, um dos motivos da guerra entre Israel e seus vizinhos foi justamente a ameaça, por parte dos árabes, de desviar o fluxo do rio Jordão, cuja nascente fica nas montanhas no sul do Líbano. O rio Jordão e seus afluentes fornecem 60% da água necessária à Jordânia. A Síria também depende desse rio.
Nilo	Egito, Sudão, Etiópia, Burundi, Quênia	a população dos países que compartilham o Nilo continua crescendo em ritmo acelerado provocando uma forte competição pelas suas águas para a irrigação e geração de energia. Cerca de 85% da vazão do Nilo se origina na Etiópia, mas a maior parte é utilizada pelo Egito. Grande parte do restante é consumida no Sudão. Quando esses países se saciam, chega muito pouca água no Mediterrâneo.
Congo	Eritreia, Uganda, Ruanda e Tanzânia	disputa da água para abastecimento e irrigação
Tigre-Eufrates	Iraque, Síria e Turquia	a Turquia vem sendo acusada pelo Iraque e Síria de desviar água em demasia através da construção de uma série de represas ao longo dos rios Tigre e Eufrates.

FONTE: Estado do Mundo (2000)

Obs.: A população dessas nações crescerá de 32 a 71% até 2025

É obrigação do Estado, o fornecimento de pelo menos um volume mínimo de água potável e saneamento necessário para uma boa saúde, para toda a população, sem nenhuma forma de distinção, e principalmente sem custos para aqueles que não podem arcar com os mesmos. Para a ONU (Organização das Nações Unidas), o “acesso razoável” a água potável é definido como a disponibilidade de, pelo menos, de 20 a 50 litros por pessoa por dia, de uma fonte a uma distância não superior a 1 quilômetro do lar.

As Metas de Desenvolvimento do Milênio para 2015 estabeleceu a redução à metade da proporção de pessoas sem acesso à água potável e ao saneamento adequado. A fim de atender aos novos compromissos, os serviços de água terão que alcançar mais 550 milhões de pessoas, e o saneamento adequado 1,3 bilhões de pessoas, até 2015 (Assembleia Geral da ONU, 2000) - globalmente, isso exigirá menos de 1% das extrações atuais em todo o mundo.

Os projetos para atender a demanda de água devem ser desenvolvidos visando a sustentabilidade econômica, social e ambiental, e obedecendo critérios técnicos, legais e institucionais. É essencial que governos cumpram suas obrigações e protejam a segurança pública da água estabilizando o crescimento populacional e elevando a produtividade hídrica, para que a escassez de água não se transforme em falta de alimentos.

É urgente a conscientização da sociedade para a necessidade do uso adequado da água, e mais importante ainda é que essa conscientização venha acompanhada pela mudança nos padrões de conduta e hábitos, pelos consumidores individuais, com relação ao seu uso e conservação – evitando o desperdício, o que significaria entender a diferença entre racionalizar e racionar. Racionalizar o uso da água não significa ficar sem ela periodicamente. Significa usá-la sem desperdício, considerando-a um bem vital para a sobrevivência do planeta.

A escolha por uma dieta mais saudável e menos intensiva no uso de água, uma paisagem adequada ao clima e um estilo de vida com menos bens materiais poderão transformar os consumidores de água em gestores da água. Esta conscientização necessita do respaldo da educação ambiental básica com a inserção do tema “água” em todas as disciplinas da grade curricular das redes públicas e privadas de ensino infantil, fundamental e médio. A capacitação de jornalistas e gestores de recursos hídricos certamente contribuiria numa ampla divulgação e informação sobre os problemas hídricos, alertando e esclarecendo sobre a real necessidade dessas mudanças de atitudes.

Felizmente, ao longo dos últimos quatro anos, tem-se observado um movimento, ainda que modesto, de divulgação e alerta para o desperdício da água. Os órgãos gestores dos recursos hídricos disponibilizam informações e sugestões em seus sites oficiais e em material promocional. Os órgãos de comunicação têm inserido o tema em propagandas educativas e na programação jornalística. Membros da sociedade em todo o país têm tomado iniciativas próprias para evitar o desperdício com a instalação de equipamentos sanitários que visem economia de água, caixas d’água para captação e reutilização de águas servidas e águas de chuva, em residências e condomínios, além da mudança de simples atitudes e hábitos do cotidiano.

Portanto, são prioritárias e possíveis mudanças nos hábitos das pessoas e dos governos com relação ao uso da água visando o crescimento econômico e ao mesmo tempo respeitando a capacidade dos recursos hídricos. No quadro 5.2 estão relacionadas algumas medidas que visam o aumento da eficiência hídrica a fim de evitar a escassez de água nos próximos anos.

QUADRO 5.2 – MEDIDAS PRIORITÁRIAS PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA HÍDRICA

Controle do crescimento populacional: o incremento aos serviços de planejamento familiar, aos programas de saúde reprodutiva das mulheres e às oportunidades educacionais e econômicas para as mulheres, teria o benefício duplo de melhorar sua qualidade de vida e reduzir a taxa de natalidade.

Aumento da produtividade hídrica agrícola:

- escolha de lavouras menos sedentas;
- escolha da lavoura a ser desenvolvida em função das condições climáticas e ambientais locais (ex. índice pluviométrico);
- adoção de métodos mais eficientes de irrigação - irrigação por gotejamento;
- conhecimento da quantidade exata de água necessária para determinadas lavouras - apenas 40% da água desviada é efetivamente utilizada na irrigação, os outros 60% são desperdiçados porque se aplica água em excesso, fora do período de necessidade da planta, em horários de maior evaporação do dia, pelo uso de técnicas de irrigação inadequadas ou, ainda, pela falta de manutenção nesses sistemas de irrigação.

Substituição de gramados sedentos por grama nativa resistente à seca, proteção vegetal, flores silvestres e plantas que vicejam naturalmente em seus climas locais.

Mudanças de dietas alimentares a fim de satisfazer as necessidades nutricionais com menos água. São necessárias cinco vezes mais água para suprir 10 gramas de proteína da carne bovina do que do arroz.

Instalação de utensílios eficientes em termos de consumo de água (sanitários, chuveiros e torneiras) e eletrodomésticos (lavadoras de roupa e prato) nas residências e estabelecimentos comerciais e industriais.

Substituição dos hidrômetros industriais e comerciais a cada quatro anos e hidrômetros residenciais a cada sete anos, para assegurar faturamento correto e minimizar perdas de água não-medida.

Reutilização (reuso) de águas servidas e de água não-potável pelas indústrias, estabelecimentos públicos e comerciais, e pelas residências. Por exemplo, na refrigeração de equipamentos, na limpeza das instalações etc. Essa água reciclada pode ser usada na produção primária de metal, nos curtumes, nas indústrias têxteis, químicas e de papel e nos sanitários. Nos países em desenvolvimento, 70% dos resíduos industriais são despejados sem tratamento em águas que poderiam ser usadas para o abastecimento.

Reutilização de materiais e produtos químicos usados: indivíduos e empresas poderão ajudar a reduzir o risco de poluição dos aquíferos por metais pesados, produtos químicos isoladores, solventes de limpeza e outras substâncias tóxicas que vazam dos aterros.

Compra de produtos de papel reciclado em vez de papel virgem, por exemplo, poupa-se não só árvores e energia, mas também a água utilizada na manufatura do papel. E produtos de alumínio fabricados com sua sucata requerem apenas 17% da água que o mesmo produto necessita se feito de alumínio bruto.

Coleta de águas pluviais em terrenos com mais de 500 m² de impermeabilização dos solos.

Ampliação ao acesso ao tratamento de esgotos: nos países em desenvolvimento, entre 90 e 95% do esgoto é despejado sem tratamento em águas que poderiam ser usadas para o abastecimento.

Manutenção de aterros, tanques de combustíveis, tanques de depósitos de lixo químico.

Realização de manutenção constante nas redes de abastecimento e dentro de nossas casas para detectar vazamentos e outras perdas em adutoras e tubulações e consequentes reparos.

Identificação das conexões ilegais e de contabilidade falha. Conexões ilegais são sujeitas a multas de até US\$ 50.000 ou três anos de detenção.

Conhecimento da disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas são primordiais ao estabelecimento de política de gestão das águas subterrâneas. O uso sustentável de aquíferos renováveis exige que nossas retiradas não excedam o nível de recarga.

Implantação de tarifas mais altas para água e esgoto para as indústrias, com o cuidado de não incentivar a perfuração de poços profundos sem a devida fiscalização.

Adoção de tarifa escalonada como instrumento econômico que pode proporcionar um uso mais eficiente e equitativo da água. Com esse método, o preço unitário da água para um consumidor aumenta juntamente com o volume utilizado. Isso permite que um nível básico de água domiciliar tenha um preço bastante baixo, enquanto um maior uso é cobrado a uma taxa mais alta, de modo escalonado (em indústrias, hotéis, etc.). A possibilidade de cobrar mais caro pela água dos grandes consumidores poderia encorajar a sua conservação. Tarifas subsidiadas – subsídios cruzados e investimentos em fontes públicas para garantir que ninguém seja impedido de ter acesso à água devido à pobreza, com uma despesa máxima em água de 3% do rendimento familiar.

Juntamente com regulamentos rígidos e tarifação mais efetiva, os mercados da água podem ajudar a melhorar a eficiência de uso e alocação. A possibilidade de negociar água encoraja os consumidores a conservá-la, já que podem vender a que foi poupada e faturar uma renda extra. Onde existem títulos ou direitos claros sobre a propriedade da água, “limitar-conservar-negociar” pode ser uma estratégia eficaz para a proteção de ecossistemas e incremento da produtividade hídrica.

Legislação específica que discipline o uso das águas subterrâneas e coíba a abertura de novos poços, essa franquia de ordem legal tem contribuído para problemas de superexploração, pois o principal fator de risco da utilização de todas as águas subterrâneas resulta do grande número de poços rasos e profundos que são construídos, operados e abandonados sem tecnologia adequada, devido à falta de controle e fiscalização nas esferas federal, estaduais e municipais (ABAS, 2002).

Criação de leis e normas específicas de utilização racional dos recursos hídricos com viabilidade sócioeconômica e ambiental, para o abastecimento público, agricultura, indústria e turismo termal, com equipamentos mais eficientes.

Institucionalização de políticas que criem incentivos para poupar água e eliminem subsídios perversos que encorajam padrões insustentáveis de utilização de água.

Autonomização dos governos e das comunidades locais através da descentralização, do desenvolvimento de capacidade e de um financiamento adequado, destinando pelo menos 1% do PIB à água e ao saneamento, por via da despesa pública.

“Uma sociedade sustentável e segura é uma que atenda suas necessidades hídricas sem destruir os ecossistemas dos quais depende ou as perspectivas das gerações futuras. Coletivamente, poderemos nos mover em direção a uma sociedade moderna, com base numa irrigação mais eficiente, produtiva, ecologicamente segura e potencialmente duradoura. Aceitar o desafio imposto pela reserva finita de água doce na Terra requer também a diminuição de nossas pressões individuais e coletivas sobre os sistemas naturais. Portanto, o maior desafio é atingir o equilíbrio entre as necessidades humanas e as necessidades dos ecossistemas – Sandra Postel, 2004.”

A integração das águas

*Referências
Glossário
Apêndice*

Referências

ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas). **XII Congresso de Águas Subterrâneas, 2002**. Pode faltar água no planeta azul. Fábrica de Comunicação. Disponível em: <http://www.abas.org/cabas/nt_0008.php>. Acesso em: 21 set. 2003.

ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas). **Conheça as bacias e províncias hidrogeológicas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.abas.org/estudos/hidrogeologia/>>. Acesso em: 29 nov. 2003.

ÁGUAS & ÁGUAS. 2003. Disponível em: <<http://www.aguaseaguas.hpg.com.br>>. Acesso em: 05 out. 2003.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani**. Elaborado pela CAS/SRH/MMA (Coordenação de Águas Subterrâneas/Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério de Meio Ambiente) (UNPP - Unidade Nacional de Preparação do Projeto/Brasil). Brasília: Agência Nacional de Águas, 2001. Escala 1:13.600.000.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Projeto Aquífero Guarani**, 2001a. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/guarani>>. Acesso em: 18 jul. 2003.

ANA (Agência Nacional de Águas). **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Edição Comemorativa do Dia Mundial das Águas. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2002. 64p.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. In: Cadernos de Recursos Hídricos 5. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2007. 124p.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2009. 204 p.

ANNEE (Agência Nacional de Energia Elétrica). **O estado das águas no Brasil**, 1999. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 22 fev. 2004.

ARAÚJO, Laury Medeiros; FRANÇA, Almério Barros; POTTER, Paul Edwin. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Piramboia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Biblioteca de Ciência e Tecnologia e Petrobras, 1995. 16p.

BARTH, Flávio Terra. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel, 1987. Coleção ABRH de Recursos Hídricos.

- BBC Mundo. **Crisis mundial del agua**, 2003. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/agua/default.stm>>. Acesso em: 11 fev. 2004.
- BROWN, Lester. Queda dos lençóis freáticos. In: BROWN, Lester. **Eco-Economia: uma nova economia para a Terra**. Universidade Livre da Mata Atlântica (UMA). Disponível em: <<http://www.uma.org.br>>. Acesso em: 21 jul. 2003. Copyright 2003 por Earth Policy Institute (EPI).
- CALCAGNO, Alberto. **Identificação de áreas para a execução de programas e ações piloto e definição de termos de referência**: atividade 09 do Projeto Aquífero Guarani. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- CEPIS (Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente). **Capítulo I: a água para o século XXI no mundo e em nossa região**, 2000. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/eswww/dias/diainter/anos/2000/diapor.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2003. Elaborado por Eloísa Tréllez Solís.
- CEPIS (Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente). **Capítulo VIII: a situação da água no Brasil**. Programa de Saneamento Básico, 2000. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/eswww/dias/diainter/anos/2000/diapor.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2003. Elaborado por Eloísa Tréllez Solís.
- CSEI (Câmara Setorial de Máquinas e Implementos Agrícolas). **O setor de irrigação no Brasil**. Formato do arquivo: Microsoft Powerpoint. ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos/CSEI (Câmara Setorial de Máquinas e Implementos Agrícolas). Disponível em: <http://www.ana.gov.br/.../O%20setor%20de%20irrigação%20no%20Brasil%20-%20Abimaq.ppt>>. Acesso em: 12 ago. 2009.
- CHANG, Hung Kiang. **Uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani**: atividade 3 do Projeto Aquífero Guarani. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- COELHO, Marcos de Amorim. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 1996. 400 p.
- CPRM (Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil). **Perspectivas do meio ambiente para o Brasil**: uso do subsolo, 2002. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- DELGADO, Carlos Díaz; ANTÓN, Danilo. **Séquia en un mundo de agua**, 2002. Disponível em: <<http://www.cosmovisiones.com>>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos), 2002. Disponível em: <<http://www.dgeec.gov.py/>>. Acesso em: 22 jul. 2009.
- DNAEE (Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica). Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: 1985.
- DOMINGUES, Antônio Félix. **Recursos Hídricos**: situação atual e perspectivas. In: IX Simpósio Nacional Cerrado/II Simpósio Internacional Savanas Tropicais - "Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais". Brasília: 2008. Disponível em: <<http://simposio.cpac.embrapa.br/palestras/painel3/palestrapainel3antoniofelix.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2009.
- DOMINGUEZ, Abel. **La ciencia ecológica**. Naturaleza Educativa. Disponível em: <http://www.iespana.es/natureduca/cienc_indice.htm>. Acesso em: 19 dez. 2003.
- DPI (Departamento de Informação Pública das Nações Unidas). **Água: vida ou morte**. DPI/2293B, 2002.
- DPRM/CPRM (Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais). **Mapa hidrogeológico do Brasil**. Brasília, 1983. Escala 1:50000.000.
- DRM (Departamento de Recursos Minerais). **Águas subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.drm.rj.gov.br/projeto.asp?chave=6>>. Acesso em: 20 ago. 2003.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Projeto Guarani**: uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea. Relatório Final. Embrapa Meio Ambiente, 2002. 38p. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br>>. Acesso em: 28 jul. 2003. Link "Projetos".
- ESTADO DO MUNDO 2000. Lester Russell Brown, Christopher Flavin e Hilary French. Relatório do Worldwatch Institute sobre o Avanço em Direção a uma Sociedade Sustentável: **Replanejando a Agricultura Irrigada**, por Sandra Postel. Tradução: Henry J. Mallett. Título original: State of the World 2000. Salvador: UMA Editora, Universidade Livre da Mata Atlântica (UMA), cap. 3: p. 40-60, 2000. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org.br>>. Acesso em 28 nov. 2008.
- ESTADO DO MUNDO 2004. Brian Halweil e Lisa Mastny. Relatório do Worldwatch Institute sobre o Avanço em Direção a uma Sociedade Sustentável - Estado do consumo e o consumo sustentável: **Incrementando a Produtividade Hídrica**, por Sandra Postel e Amy Vickers. Tradução: Henry J. Mallett. Título original: State of the World 2004. Salvador: UMA Editora, Universidade Livre da Mata Atlântica (UMA), cap. 3: p. 55-78, 2004. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org.br>>. Acesso em 28 nov. 2008.
- ESTADO DO MUNDO 2005. Michael Renner, Hilary French e Erik Assadourian. Relatório do Worldwatch Institute sobre o Avanço em Direção a uma Sociedade Sustentável - Estado do consumo e o consumo sustentável: **Gerindo disputas e cooperação hídricas**, por Aaron, T. Wolf, Annika Kramer, Alexander Carius e Geoffrey D. Dabelko Tradução: Henry J. Mallett e Célia Mallett. Título original: State of the World 2005. Salvador: UMA Editora, Universidade Livre da Mata Atlântica (UMA), cap. 5: p. 92-108, 2005. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org.br/edm2005.htm>>. Acesso em 28 nov. 2008.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Glossário**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/glossary/index.jsp>>. Acesso em: 28 ago. 2003.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Uso de água na agricultura e no meio rural**. Water resources, development and management service, 2000. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/countries/index.stm>>. Acesso em: 15 set. 2003.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Population data**. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. 2002. World Population Prospects: The 2000 Revision. New York: United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index3.jsp?radio2=y&cont=%25&country=%25&search=Display>>. Acesso em: 20 ago. 2003.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Review of water resource statistics by country**. Water resources, development and management service, 2002a. Disponível em: <<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/aquastat/dbase/index2.jsp>>. Acesso em: 20 ago. 2003 e <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/index2.jsp>>. Acesso em: 15 jan. 2009.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO's Aquastat Programme**.

- FAO's Land and Water Development Division, 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4473E/y4473e01.htm>>. Acesso em: 26 jan. 2004.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO's Aquastat Programme, 2006**. AQUASTAT database. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/aquastat>. Acesso em: 15 jan. 2010.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO's Aquastat Programme - Information System on Water in Agriculture**. FAO's Land and Water Development Division, 2009. AQUASTAT online database, Rome: FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>>. Acesso em: 15 jan. 2010 e <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/index.stm>>. Acesso em: 15 jan. 2010.
- FARMWEB. **Water use and management**. Disponível em: <<http://www.farmweb.au.com/h2o/h2use.html>>. Acesso em: 08 set. 2003.
- FERREIRA BUARQUE DE HOLLANDA, Aurélio. **Pequeno dicionário brasileiro da língua portuguesa**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1985. 1301p.
- FGV/SRH/MMA (Fundação Getúlio Vargas/Secretaria de Recursos Hídricos/ Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de recursos hídricos e o diagnóstico dos recursos hídricos nacionais**. Brasília: FGV, 1998.
- FORLIN, Maximilian; ROSA FILHO, Ernani Francisco da. **Mapa de isothermas do Sistema Aquífero Guarani**. Curitiba: UFPR, 2001. 1 mapa. Escala 1:1.000.000.
- FUNDACIÓN CANAL. Madrid: Fundación Canal Isabel II, 2003. Disponível em: <<http://www.fundacioncyii.org/index.php3?idseccion=43#>>. Acesso em: 19 dez. 2003.
- FUNDAJ (Fundação Joaquim Nabuco). **Águas doces no Brasil**. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/sbpc.html>>. Acesso em: 28 ago. 2003.
- GASTMANS, Didier; CHANG, Hung Kiang. Avaliação da Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Águas Subterrâneas** (São Paulo), São Paulo, v. 19, n. 01, p. 35-48, 2005.
- GODOY, Eugênio; PAREDES, José. Acuíferos potenciales del Paraguay. In: 9.º ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS e 1.º MERCOSUL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABAS, 1995. 1v.
- GOMES, Marco Antônio Ferreira; FILIZOLA, Heloísa Ferreira; SPADOTTO, Cláudio Aparecido. Classificação das áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani no Brasil em domínios pedomorfoagroclicmáticos: Subsídio aos estudos de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 18, p. 67-74, 2006.
- GONÇALVES, Juliano Costa; RIZZO, Marçal Rogério; NATALIN JÚNIOR, Osvaldo. Água: um bem que deve ser preservado! **A Tribuna**, v. 14, n. 658, 03 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/at030601.htm>>. Acesso em: 1 jul. 2003.
- GREGORASCHUK, Jorge de los Santos. **Estudio del uso actual y potencial del Sistema Acuífero Guarani**: atividade 3 do Projeto Aquífero Guarani. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- GUALDI, Osmar José. **Caracterização do Sistema Aquífero Guarani**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/semi_caracterizacao.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- HEINEN, Clarissa; BRINCKMANN, Wanderléia Elizabeth; BRINCKMANN, Carlos André. Aquífero Guarani. **Boletim Informativo**, v. 4, n. 2, fev. 2001. Santa Cruz do Sul: Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. Disponível em: <http://www.unisc.br/centros_nucleos/nrh/nrh.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- HINDI, Eduardo Chemas. **Hidroquímica e hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007, 153f.
- HIRATA, Ricardo César Aoki; SUHOGUSOFF, Alexandra Vieira. **Geociências: Águas subterrâneas - um importante recurso que requer proteção**. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.igc.usp.br>>. Acesso em: 29 nov. 2003.
- HIRATA, Ricardo César Aoki; ROCHA, Gerônimo; KETTELHUT, Julio Thadeu; et al. **Aquífero Guarani: Oportunidades e desafios do grande manancial do Mercosul**. Grupo de Trabalho 4. Florianópolis: 58ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 2006. 7p.
- HYDROLOG. **Planeta Terra - Planeta Água**. 2003. Disponível em: <<http://www.hydrolog.com.br/internas/agua.index.shtm>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2000: Anuário Estatístico do Brasil 2000 - resultados preliminares**. Brasil. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 set. 2003.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Contagem da população de 2007**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&o=23&i=P>> IBGE>. Acesso em: 10 fev. 2009.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Área Territorial Oficial**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em: 30 abr. 2009.
- IGM (Instituto Geológico e Mineiro). **Água subterrânea: conhecer para preservar o futuro**. Portugal: Instituto Geológico e Mineiro, 2001. Disponível em: <http://www.igm.inet.pt/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm>. Acesso em: 06 dez. 2003.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). **Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas, 2001**. Argentina: Instituto Geográfico Militar, 2001. Disponível em: <http://www.indec.mecon.ar/principal.asp?id_tema=50>. Acesso em: 22 fev. 2004.
- INE (Instituto Nacional de Estadística República Oriental del Uruguay). **Proyecciones de población: revisión 2000 al 30 jun. 2002**. Uruguai: Instituto Geográfico Militar, 2002. Disponível em: <<http://www.ine.gub.uy/biblioteca/anuario2003/datos/1.1.4.xls>>. Acesso em: 22 fev. 2004.
- JACOBI, Pedro. **Água no mundo: verdades e mentiras**. Disponível em: <[http://www.geologo.com.br/encontrogeol2.asp?nome=pedro jacobi](http://www.geologo.com.br/encontrogeol2.asp?nome=pedro%20jacobi)>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- KITTL, Soeren Tage. **Contributions to the knowledge on the stratigraphy and hydrochemistry of the Giant Guarani Aquifer System, South America**. Tübingen, Alemanha: 2000. Master Thesis (Dipl. Geologe) as part of the International Master Course "Tropical Hydrogeology" at the Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen. Disponível em: <<http://www.protetoresdavid.org.br/guarani.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2003.

- LANNA, Antônio Eduardo Leão. **Economia dos Recursos Hídricos**. Porto Alegre, 2001. Texto de referência da disciplina HIDP-04 Economia dos Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hidp04/EcoAgua2.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- LEAL, Antônio de Souza. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidades e usos. In: FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de (Org.). **O Estado das Águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas; Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos; Ministério de Minas e Energia, 1999. 334p.
- LEBAC/UNESP (Laboratório de Estudos de Bacias/Universidade Estadual Paulista). **Informe final de hidrogeologia** - Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Consórcio Guarani. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada (DGA) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2008. 127p.
- LEINZ, Victor; MENDES, José Camargo. **Vocabulário Geológico**. São Paulo: Nacional, 1963.
- LOURENÇO, Luana. Desperdício de água no Brasil é suficiente para abastecer 38 milhões de pessoas. **Agrosoft Brasil Jornal Online**, 24 mar. 2008. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/100332.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2009.
- MACHADO, José Luiz Flores. Hidroestratigrafia química preliminar dos aquíferos da Região Central do Rio Grande do Sul. In: 10º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1998.
- MACHADO, José Luiz Flores; FREITAS, Marcos Alexandre de; CAYE, Bráulio Robério. Evolução hidrogeoquímica dos aquíferos no oeste catarinense. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis. **Anais em CD-ROM...** Florianópolis: ABAS, 2002.
- MACHADO, José Luiz Flores; FACCINI, Ubiratan Ferruccio. Influência dos falhamentos regionais na estruturação do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá. **Anais CD-ROM...** Cuiabá: ABAS, 2004. 1v. p. 1-14.
- MACHADO, José Luiz Flores. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. São Leopoldo, 2005, 238p. ilustr. Mapas. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).
- MACHADO, José Luiz Flores. A verdadeira face do Aquífero Guarani: mitos e fatos. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: ABAS, 2005.
- MAIANETO, Ramiro Fernandes. Água para o desenvolvimento sustentável. In: A Água em Revista. **Revista técnica e informativa da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)**, Belo Horizonte ou Rio de Janeiro, n. 9, p. 21-32, 1997.
- MARSIGLIA NETTO, Antônio. **O uso sustentável da água**, 2002. Disponível em: <<http://www.qualidadeonline.com/jornal/centros/dossieragua/artSILUBESAENaSB.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- MELLO, Ivo. Seminário Nacional de Agricultura Irrigada, 2009. Disponível em: <<http://www.camponews.com.br/noticia.asp?codigo=5766>>. Acesso em: 12 ago. 2009.
- MENTE, Albert. **Definição de informação relevante para a rede de monitoramento do aquífero**: atividade 2 do Projeto Aquífero Guarani. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. 54 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- MERCOSUR. **Mapa de integración hidrogeológica de la Cuenca del Plata y áreas adyacentes**. Boletín de Lanzamiento. Minería y Energía/Comisión Temática de Geología y Recursos Minerales. Subgrupo de trabajo 9. Montevideo: 2001. Disponível em: <<http://www.mercosur.org.uy/espanol/sinf/varios/SGT9.HTM>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- MMA (Ministério de Meio Ambiente). **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Documento base de referência - minuta. Revisão. Secretaria Nacional dos Recursos Hídricos e Agência Nacional das Águas. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh/DOCUMENTOS/5Textos/20Plano%20Nacional4_04_03.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- MONTAÑO, Jorge; TUJCHNEIDER, Ofelia; AUGE, Miguel et al. Capítulo Argentino-Uruguayo. In: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL. **Acuíferos regionales em América Latina. Sistema Aquífero Guarani**. Argentina: Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral. Colección Ciencia y Técnica, 1998. 216p.
- MUSEU DO UNA. **Educação ambiental: destruição ambiental**. Disponível em: <<http://www.museudouna.com.br/destru.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2003.
- OEA (Organização dos Estados Americanos). Termo de referência: **Projeto Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani**. Elaborado por André Virmond Lima BITTENCOURT, Celso LOUREIRO, Eduardo Chemas HINDI, Francisco José Fonseca FERREIRA, Jorge Montañó XAVIER, Miguel AUGE e Sidnei Pires ROSTIROLLA, sob a coordenação de Ernani Francisco da ROSA FILHO. Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (FUNPAR). Curitiba: Global Environmental Facility, Banco Mundial, fev. 2001. 208p.
- OLIVEIRA FILHO, Abelardo. **Terra, planeta água**, 2000. Disponível em: <http://www.fnucut.org.br/saneamento/TERRA%20PLANETA%20C1GUA%202.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- OMS (Organização Mundial da Saúde). WHO (World Health organization) & UNICEF (United Nations Children's Fund) Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply and Sanitation/World Health Organization Statistical Information System (WHOSIS): Genebra e Nova Iorque. 2010. Última atualização em 15/03/2010. Disponível em: <<http://www.wssinfo.org/datamining/introduction.html>>, <<http://www.wssinfo.org/datamining/tables.html>>. Acesso em: 28 jun. 2010.
- PAULIPETRO. **Relatório de atividades**. São Paulo: Paulipetro, 1981. 59p.
- PESCE, Abel H. **New applications of direct-use in Argentina**. Argentina country update. Proceedings World Geothermal Congress. Kyushu - Tohoku, Japan, 2000. 343p.
- PESCE, Abel Hector; JOHANIS, Pablo Esteban. **The geothermal resources of Northeastern Argentina**. Servicio Geológico Minero Argentino. Departamento de Geotermia de Buenos Aires. Buenos Aires, 2000. Disponível em: <http://www.geothermie.de/egec-geothernet/ci_prof/america/argentina/0569.PDF>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- PESCE, Abel H. **Thermal SPA's: Na Economical Development Alternative along both sides of Uruguay River**. GHC Bulletin. 2002. 7p.
- PIMENTEL, Rita. Reserva de água no planeta. **Bahia Análise & Dados**. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Salvador: v. 9 n. 3, p.118-122, 1999. Disponível em: <<http://>>

- www.sei.ba.gov.br/publicacoes/bahia_analise/analise_dados/pdf/retros1999/pag_133.pdf.> Acesso em: 31 ago. 2003.
- PLANETA. Terra Networks. **Nosso planeta**: Brasil. Disponível em: <<http://www.meleca.com.br/PLANETA/MAPA.HTM>>. Acesso em: 30 ago. 2003.
- PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). **Relatório do Desenvolvimento Humano 2006** - A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). New York, 2006. 422p.
- PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). **Human Development Report 2007/2008** - Fighting climate change: human solidarity in a divided world. United Nations Development Programme. New York, 2007. 384p.
- PNUMA (Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente). Estado do Meio Ambiente e Retrospectivas Políticas: 1972-2002 - Água Doce: Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2002/GEO-3. PNUMA (Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente), IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e UMA (Universidade Livre da Mata Atlântica), cap. 2, p. 162-197, 2004.
- PROASNE. Ministério de Minas e Energia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial. **A água subterrânea no mundo**. Disponível em: <<http://proasne.net/PARSNEFinal.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná**: análise da viabilidade. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976, 143f.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Águas subterrâneas nas grandes metrópoles**: água subterrânea no novo modelo do saneamento básico, 1996. Disponível em: <<http://www.unesco.org/uy/phi/libros/estrategias/art07.html>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Aquífero Guarani**: características gerais e potenciais. Nota Técnica da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2000. 16p.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. **Águas doces no Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 702p.
- REBOUÇAS, Aldo da Cunha; AMORE, Luiz. O Sistema Aquífero Guarani - SAG. **Revista Águas Subterrâneas**, Curitiba, n. 16, p. 103-110, 2002a. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).
- RODRIGUES, Roberto. Pagar pela água/Diário de bordo. **Revista Agroanalysis**, 2000, Aliança Cooperativa Internacional/ Associação Brasileira de Agribusiness (ABAG). Disponível em: <<http://www.abagbrasil.com.br/atigos.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da; SALAMUNI, Riad; BITTENCOURT, André Virmond Lima. Contribuição ao estudo das águas subterrâneas nos basaltos do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 37: p. 22-52, 1987.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da; FORLIN, Maximilian; XAVIER, Jorge Montañó. Informações básicas sobre a distribuição do Sistema Aquífero Guarani nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. **Revista técnica e informativa da CPRM**, Brasília, n. 10, p.23-26, 1998.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da; HINDI, Eduardo Chemas; GIUSTI, Donizeti Antônio; MANTOVANI, Luiz Eduardo. Usos potenciais do hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 48: p. 63-69, 2000.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da; HINDI, Eduardo Chemas; GIUSTI, Donizeti Antônio; MANTOVANI, Luiz Eduardo. Usos potenciais do hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 48, p. 63-69, 2000b.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da; HINDI, Eduardo Chemas; ROSTIROLLA, Sidnei Pires; FERREIRA, Francisco José Fonseca; BITTENCOURT, André Virmond Lima. Sistema Aquífero Guarani: considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta-Grossa no fluxo das águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). Curitiba: ABAS. 17: p. 91-111, 2003.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da. **Contribuição ao estado atual do conhecimento sobre o Sistema Aquífero Guarani**. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2005, Ribeirão Preto. CD-ROOM. São Paulo: Editora da ABAS. v. 1. p. 6-12, 2005.
- ROSA FILHO, Ernani Francisco da; HINDI, Eduardo Chemas; ARAVENA, Ramon; BITTENCOURT, André Virmond Lima; MONTAÑO, Jorge Xavier; DUARTE, Uriel. **Estudo do movimento das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) através de isótopos, no Paraná, São Paulo e no Uruguai**. In: Aquífero Guarani: Avanços no conhecimento para sua gestão sustentável. Montevideo: Organizações dos Estados Americanos (OEA). v. 1, p. 109-119, 2006.
- SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). **Água pura**: campanhas e dados de consumo, 1998. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em: 19 set. 2003.
- SAER (Sociedade de Avaliação de Empresas e Risco). **III Fórum Mundial da Água**. Publicações: África, Ano 2003.
- SAMPAT, Payal. Expondo a poluição freática. In: WORLDWATCH INSTITUTE. **Estado do Mundo**: 2001. Relatório Anual do WWI-Worldwatch Institute/UMA-Universidade Livre da Mata Atlântica, 2001. Disponível em: <<http://www.wwiuma.org.br>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SANTUR (Santa Catarina Turismo S/A). Empresa de economia mista criada em vinculada à Secretaria de Estado de Turismo, Cultura e Esporte. Florianópolis. Disponível em: <http://www.santur.sc.gov.br/index.php?option=com_zoom&Itemid=27&page=view&catid=68&PageNo=1&key=11&hit=1>. Acesso em: 15 jul. 2009.
- SETUR (Secretaria de Estado de Turismo do Rio Grande do Sul). Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.setur.rs.gov.br/portal/index.php?q=destino&cod=4&opt=>>>. Acesso em: 15 jul. 2009.
- SBPC (Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência). **Águas**: abundância e escassez, 2000. SBPC/Labjor Brasil. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/aguas/aguas02.htm>>. Acesso em: 5 out. 2003.
- SHIKLOMANOV, Igor A. **World water resources - a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: International Hydrological Programme/ONU, 1998. 37p.

- SHIKLOMANOV, Igor A. **World water resources at the beginning of the 21st century**: summary of the monograph in World Water Resources and their Use. State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia & UNESCO, Paris, 1999. Disponível em: <<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/summary/html/summary.html#Introduction>>. Acesso em: 20 ago. 2003.
- SILVA, André Luiz Martinelli Santos. **Águas subterrâneas**: critérios em seu uso. Fórum Internacional das Águas, 2003. Disponível em: <http://www.foruminternacionaldasaguas.com.br/artigos.asp?cod_pub=9>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SILVA, Rosa Beatriz Gouveia de. **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983, 133f.
- SMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). **Projeto GEF: Gerenciamento Integrado e Sustentável do Aquífero Guarani**, 2000. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/gefapres.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). **Qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani monitoradas pela Cetesb no Estado de São Paulo**, 2003. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/caract_hidrogeoq.doc>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). **O aquífero**: ciclo hidrológico, 2003. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/def_aquifero.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003 e <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/aquifero_guarani.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo). **Estudos, pesquisas e experiências de gestão**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/estudosapres.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo). **Gestão do Aquífero Guarani**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/seminario_gestao.htm>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- SRH (Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo). **Tabela**: graus de disponibilidade hídrica social no Brasil em 2000. Disponível em: <http://www.sfi.ec.org.br/grupos_acao/infraestrutura/proposta_inicial/anexo5.htm>. Acesso em: 20 set. 2003.
- SRH/MMA (Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente). **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Fundação Getúlio Vargas, 1998. 10 v. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/srh>>. Acesso em: 22 ago. 2003.
- SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2006 - Parte 1 - Visão Geral da Prestação de Serviços**. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2007, 232 p.
- STRUGALE, Michael. **Arcabouço e Evolução Estrutural do Arco de Ponta Grossa no Grupo São Bento (Mesozoico)**: Implicações na hidrodinâmica do Sistema Aquífero Guarani e na Migração de Hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. Tese (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002 124p.
- TALLBACKA, Lars. **Geothermal Project Component an Assessment of Opportunities for Geothermal Energy Utilisation**. In: ORGANISATION OF AMERICAN STATES. Environmental Protection and Integrated Sustainable Management of the Guarani Aquifer System. Contract No. R-20226. Petroleum Geology Investigators. 2001.
- TODD, David. K. **Ground Water Hidrology**. New York: John Willey, 1959.
- TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, Instituto Internacional de Ecologia IIE, 2003. 248p.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). **Glossário internacional de hidrologia**. Disponível em: <<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglu.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2003.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). **Ground water, environment and development**. Paris, 1992. 140 p.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). **Internationally shared (transboundary) aquifer resources management (ISARM)**: their significance and sustainable management, 2001. Disponível em: <<http://www.unesdoc.unesco.org/images/0012/001243/124386e.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2003.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). **Atlas continental**: el agua en América. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 2003. Disponível em: <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>. Acesso em: 21 ago. 2003.
- UNESCO/IHP (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/International Hydrological Programme). **International Hydrological Programme IV**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- UNIVERSIDADE DA ÁGUA. **Dicionário ambiental**. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br/default.asp?tp=3&pag=dicionario.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2003.
- WINGE, Manfredo; CRÓSTA, Álvaro Penteado; ALVARENGA, Carlos José Souza de **Glossário Geológico Ilustrado**. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. 2001. (Publicação na Internet). Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/glossario>>. Acesso em: 5 abr. 2004.
- WREGGE, Mário. Termos hidrogeológicos básicos. **Caderno Técnico ABAS**, São Paulo, n.4 ago. 1997. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 32p. Disponível em: <http://www.abas.org/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm>. Acesso em: 29 nov. 2003.
- WRI (World Resources Institute). **World resources 1998-99**: environmental changes and human health. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- WRI (World Resources Institute). EarthTrends: The environmental information portal. 2009. Water Resources and Freshwater Ecosystems/Searchable Database. Disponível em: <http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.php?theme=2>. Population, Health and Human Well-being/Searchable Database. Disponível em: <http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.php?theme=4>. Acesso em: 30 abr. 2009.
- ZANATTA, Lauro César; COITINHO, João Batista Lins. Utilização de poços profundos no Aquífero Guarani para abastecimento público em Santa Catarina. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. 16p.
- ZIMBRES, Eurico. **Guia avançado sobre água subterrânea**, 2000. Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>>. Acesso em: 28 ago. 2003.

Glossário

ADVECÇÃO - É o transporte de fluido em função do gradiente.

AGENDA 21 - Plano de metas voltado para os desafios do século XXI (daí seu nome). Traçado pelos governos mundiais, tem como base a definição de um programa que inclui a criação de mecanismos de financiamento para projetos de preservação ambiental e de transferência de tecnologias e ainda o estabelecimento de normas jurídicas para a proteção da biosfera.

ÁGUA CAPILAR - Água da zona de aeração retida na superfície nas partículas do solo por tensão superficial e que migra, a partir do lençol freático, para cima, partícula a partícula, pelo processo de capilaridade.

ÁGUA CONATA - Água que foi captada nos espaços porosos de rochas sedimentares desde a época em que os sedimentos originais foram depositados. Encontram-se, geralmente, em profundidades superiores a 4.000 metros, com um estoque de aproximadamente 53,0 milhões de km³. São águas, em geral, com altos teores salinos devido ao longo período de interação água/rocha.

ÁGUA DO SOLO - É aquela água contida no meio poroso próximo à superfície topográfica; ocorre como água pelicular.

ÁGUA FREÁTICA - Água de origem meteórica (chuva) que se infiltra no solo, migrando, por gravidade, para níveis inferiores na zona de aeração, ocupando os vazios dentro de uma rocha ou solo num nível abaixo do lençol de água. Sinônimo: água vadosa; água gravitativa; água gravítica.

ÁGUA METEÓRICA - Água da chuva que, em seu ciclo, evapora em parte, é absorvida pelas plantas, escoar como água superficial em riachos e rios e infiltra-se, direta ou indiretamente, abastecendo o lençol de água subterrânea. É a água subterrânea recarregada naturalmente por uma parcela da infiltração da água das chuvas, neves e neblinas. Podem ser encontradas até 4.000 metros de profundidade preenchendo os poros intergranulares dos sedimentos ou fissuras das rochas compactas com um volume estocado de aproximadamente de 10,5 milhões de km³. (REBOUÇAS et al. 2002).

ÁGUA SUBSUPERFICIAL - É toda e qualquer água, ocorrente na litosfera sob a superfície topográfica. Exemplo: água do solo; água subterrânea. Contrário de água superficial (que é aquela que ocorre em corpos de água com superfície livre em contato direto com a atmosfera, como rios; lagos; mares).

ÁGUA SUBTERRÂNEA - Toda a água que está contida nos espaços porosos de rochas e no solo abaixo da elevação do lençol freático.

ÁGUA TERMAL - É aquela água subterrânea, naturalmente quente na sua emergência; ou seja, água com temperatura acima da temperatura média da região.

ALUVIÃO - É a litologia depositada por rio na planície de inundação. Sinônimo: depósito aluvial. Pode ser argila, silte, areia, cascalho ou outro material detrítico depositado pela água.

AMÍGDALA - Estrutura esferoide de dimensão geralmente milimétrica que lembra amígdala e que ocorre em rochas vulcânicas a subvulcânicas principalmente; resulta da cristalização de minerais como calcita, calcedônia, zeolitas, quartzo, em bolha formada pela expansão de gases contidos no líquido magmático ao ascender este à superfície terrestre, diminuindo a pressão litostática. Sinônimo: vesícula.

AMIGDALOIDAL - Textura de rocha vulcânica a subvulcânica contendo muitas amígdalas.

ANDESITOS - Tipo de rocha efusiva magmática que sofreu modificações mineralógicas inerentes ao próprio magma durante os últimos estágios da sua consolidação. É composta essencialmente por feldspatos.

AQUÍCLUDO (aquiclude) - É aquela formação geológica que pode armazenar água, mas não a transmite (a água não circula). Exemplo: argila. A água está contida no meio por forças moleculares.

AQUÍFERO TRANSNACIONAL ou TRANSFRONTEIRIÇO - É aquele compartilhado por dois ou mais países (ou municípios) e tem chamado a atenção pela sua importância, uma vez que se encontra sob diferentes condições socioeconômicas e legais.

AQUÍFUGO - É aquela formação geológica impermeável que não armazena nem transmite água. Exemplo: rochas cristalinas.

AQUÍTARDO (aquitarde) - É aquela formação geológica porosa, mas pouco permeável, que pode armazenar água, mas que a transmite lentamente inviabilizando economicamente o seu aproveitamento em obras de captação, contudo é capaz de ceder quantidades apreciáveis de água lentamente e em grandes áreas. Exemplo: siltito.

ÁREA DE AFLORAMENTO - Exposição natural da rocha armazenadora de água causada principalmente por erosão.

ÁREA CONFINADA - Situação em que o aquífero encontra-se entre duas unidades litológicas impermeáveis e sob uma pressão maior do que a pressão atmosférica.

ARENITO - Rocha sedimentar clástica cujas partículas são predominantemente do tamanho de areia (0,062 a 2 mm de diâmetro).

ARTESIANA - É aquela água subterrânea que se encontra confinada por camadas impermeáveis; ou seja, não tem contato direto com a atmosfera. Sinônimo: confinada. Nota: artesiana é a água, não o poço; mas é comumente também empregada ao aquífero.

ARTESIANO - Expressão originada de Artois (leia-se "artoi"), cidade ao norte da França, famosa por seus aquíferos confinados. Aí foram perfurados e investigados os primeiros poços profundos para atingir aquíferos confinados, datando de 1750. Originariamente, o termo referia-se a um poço com água de escoamento livre, mas atualmente se aplica a qualquer poço que penetre um aquífero confinado, ou simplesmente ao próprio aquífero (TODD, 1959). Em muitos casos, a pressão da água nestas camadas confinadas é tal que quando se perfura um poço a água é empurrada além da superfície, dando origem a poços jorrantes.

ARTESIANISMO - Condição de pressão da água subterrânea tão forte em um aquífero que, fazendo-se um furo ou poço, a água sai do aquífero e atinge a superfície, podendo jorrar a uma altura equivalente a esta sobre pressão.

AUTODEPURAÇÃO DA ÁGUA - Processo natural de purificação da água, que reduz a poluição orgânica. Por exemplo, há espécies de plantas aquáticas que absorvem poluentes.

BACIA GEOLÓGICA - Qualquer região da Terra abaixo de um nível base de erosão e que recebe ou recebeu sedimentos ou material vulcânico em episódios de colmatagem intercalados com episódios de não deposição e de erosão, resultando em um pacote de rochas sedimentares/vulcanosedimentares, com superfícies de discordância, que registram processos geológicos e geotectônicos associados com a evolução dessa região.

BACIA HIDROGEOLÓGICA - É aquela região geográfica em que as águas subterrâneas escoam a um só exutório. Pode não coincidir com a bacia hidrográfica.

BACIA HIDROGRÁFICA - Conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. A noção de bacias hidrográficas inclui naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de água, cursos de água principais, afluentes, subafluentes, etc. Em todas as bacias hidrográficas deve existir uma hierarquização na rede hídrica e a água escoar normalmente dos pontos mais altos para os mais baixos. O conceito de bacia hidrográfica deve incluir também noção de dinamismo, por causa das modificações que ocorrem nas linhas divisórias de água sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou diminuindo a área da bacia. Diz-se também da região contida entre divisores de água em que toda a água que aí precipitar sairá por um único exutório (foz).

BACIA INTRACRATÔNICA - Bacia geológica correspondente a uma depressão topográfica em área cratônica, muitas vezes com incursões marinhas, com a forma de um prato ou alongada, de dimensões variadas até de milhares de quilômetros de diâmetro, que recebe ou recebeu sedimentos provindos das áreas mais elevadas. A espessura total do pacote sedimentar é da ordem de centenas a poucos milhares de metros, no que se distingue de bacias oceânicas que são, em geral, muito mais espessas. Durante a fase de sedimentação (tafrogenese), as camadas depositadas, sedimentares e/ou vulcânicas tendem a apresentar mergulhos centrípetos.

BALANÇO HÍDRICO - É a operação que quantifica a diferença numérica entre as alimentações e as descargas de um sistema hídrico, numa região e num intervalo específicos; é a soma das entradas (alimentações), das saídas (descargas) e das variações de armazenamento de um aquífero num intervalo de tempo definido.

CACIMBA - O mesmo que poço escavado.

CAMADA IMPERMEÁVEL - Camada que não permite a passagem da água.

CAUDAL ECONÔMICO DE EXTRAÇÃO (de um aquífero) - Valor máximo do caudal que se pode extrair artificialmente de um aquífero, em médio prazo, sem diminuir continuamente o seu nível, esgotar as reservas ou alterar a natureza química da água; ponto a partir do qual o valor de extração não é economicamente viável.

CICLO HIDROLÓGICO - É a contínua e natural circulação da água pelas esferas terrestres (atmosfera; biosfera; litosfera; hidrosfera). O volume global de água na Terra envolvido no ciclo hidrológico é de 577.000 km³/ano.

CLASTO - Termo que significa fragmento. Assim, rochas detríticas sedimentares como conglomerados e arenitos são rochas clásticas; as texturas de rochas fragmentárias por metamorfismo dinâmico são cataclásticas e dentre estas tem-se a textura porfiroclástica; os fragmentos vulcânicos retrabalhados são epiclásticos.

COLMATAGEM - Deposição de material sedimentar em geral ou material coluvionar, resultando no aterramento ou entulhamento de áreas mais baixas.

COLUVIÃO (colúvio) - Depósito sedimentar, geralmente mal classificado e mal selecionado, de muito pequeno transporte, que ocorre junto a escarpas e relevos acidentados em geral. O agente principal de transporte é a força da gravidade, provocando tombamento de blocos, avalanches de deslizamentos de solos e rochas, etc.

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA - Intuitivamente é a facilidade com que uma litologia permite a percolação de fluido sob um gradiente potencial. Sinônimo: Coeficiente de Permeabilidade ou de Darcy.

CONVECÇÃO - Transporte de calor pela circulação ou movimento das partes aquecidas de um líquido ou de um gás.

CRATON ou CRATO - Porção da litosfera terrestre estável, praticamente atectônica, por mais de 200 milhões de anos, caracterizada por grande espessura litosférica, tectônica essencialmente epigênica e uma crosta em grande parte composta por rochas granitoides. Existe também o conceito, sem uso hoje, de craton oceânico (tiefkraton de Stille) relativo à litosfera oceânica (terrenos mais jovens do que 200 milhões de anos) nas áreas de planícies abissais com pouco tectonismo.

CUNHA DE ÁGUA SALGADA - É a massa de água salgada que se introduz em um aquífero, limitada pela interface e o substrato.

DEFLÚVIO - escoamento superficial da água. Aproximadamente um sexto da precipitação numa determinada área escoam como deflúvio. O restante evapora ou penetra no solo. Os deflúvios agrícolas, das estradas e de outras atividades humanas podem ser uma importante fonte de poluição da água.

DEPOSIÇÃO - É o acúmulo de sedimentos transportados por água, vento ou gelo. A deposição ocorre na medida em que o meio transportador vai perdendo sua energia. Os sedimentos mais grosseiros (seixos e cascalhos) são os primeiros a se depositar e os mais finos (argila) são os últimos. Os depósitos sedimentares têm características próprias em função do agente transportador do material.

DESCARGA - É o conjunto de saídas de água de um rio ou de um aquífero, num intervalo de tempo. Pode-se dizer também que é o fluxo de água subterrânea. Nos locais onde esse fluxo atinge a superfície do terreno formam-se as fontes, nascentes ou brejos. Sinônimo: vazão.

DIABÁSIO - Rocha ígnea intrusiva, de cor preta a verde-escura, composta predominantemente por feldspatos cálcicos. Não contém quartzo. Ocorre normalmente na forma de diques ou massas intrusivas. É usada no calçamento de ruas com a denominação genérica de pedra portuguesa.

DIACLASE - Espaço vazio de uma formação geológica; é uma fratura sem deslocamento dos blocos. Também dita cavidade de dissolução nos aquíferos cársticos.

DIQUE - Origina-se da consolidação de magma que penetrou em terreno com rochas mais antigas, de forma a interceptar suas estruturas. Normalmente são corpos verticais, chegando a centenas de metros de comprimento e algumas dezenas de metros de espessura. Exemplo: diques diabásicos.

DISCORDÂNCIA - Superfície que separa as unidades estratigráficas de idades significativamente diferentes e que representa um grande período de não deposição ou de erosão das camadas abaixo e acima desta superfície de discordância. A discordância pode ser paralela, angular ou inconforme com relação à estruturação das rochas acima e abaixo da superfície de discordância. A própria superfície de discordância pode ser irregular (desconformidade) ou plana, paralela aos estratos (paraconformidade).

DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOCIAL - É a disponibilidade de água em metros cúbicos por habitante por ano. Calcula-se dividindo o valor dos recursos hídricos internos renováveis de um país ou região pelo número total da população desta mesma região (m³/habitante/ano).

DIVISOR DE ÁGUAS - Linha que separa a direção para onde correm as águas pluviais, ou bacias de drenagem. Um exemplo de divisor de água é a montante.

DOLOMITO - Rocha constituída essencialmente de dolomita (carbonato de cálcio e magnésio).

EFUSIVA - Rocha ígnea formada por lava que atinge a superfície da terra onde se consolida. Sinônimo: extrusiva.

ENDORREICA - Diz-se da bacia fechada ou quando a drenagem se dá na própria bacia. Drenagem endorreica é aquela que corre para o interior, não atingindo o oceano, muito comum em regiões desérticas onde vão desaguar em área baixa, formando lagos rasos de formação efêmera na época de chuvas mais fortes.

EROSÃO - Retirada e transporte do solo e da superfície do terreno pela ação da água; vento e gelo. O material transportado recebe o nome de sedimento e vai dar origem às rochas sedimentares.

ESCOAMENTO - É o movimento da água, transvasando.

ESCOAMENTO SUPERFICIAL - É aquele realizado através dos canais da drenagem de superfície.

ESCORRIMENTO SUPERFICIAL - É aquele escoamento disperso de água que se dá sobre a superfície topográfica.

ESTRATIFICAÇÃO - Estrutura originada pela acumulação progressiva de qualquer material tendendo a formar camadas definidas por discontinuidades físicas e/ou por nítidas passagens textural, estrutural ou química. Esta estrutura é mais típica de rochas sedimentares na forma de camadas, lâminas, lentes ou cunhas. Origina-se devido a variações das condições geológicas, físicas, químicas e/ou biológicas durante a deposição do sedimento. Aplicável também para rochas plutônicas, vulcânicas e de deposição filoniana progressiva como ocorrem em muitos minérios.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO - É a perda de água do sistema hídrico pelo conjunto dos processos de evaporação de água do solo e transpiração vegetal.

EXORREICA - Diz-se da bacia que drena a água para o oceano.

EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA - Consiste na sua extração para dispô-la ao uso.

EXUTÓRIO - Ponto onde se dá a descarga de águas provenientes de uma rede de drenagem (urbana ou não), ou de esgotos; ponto mais baixo de um sistema de drenagem.

FALHA - Ruptura da crosta terrestre ou de um corpo rochoso onde há deslocamento dos blocos.

FELDSPATO - O mais comum dos minerais na crosta terrestre. Trata-se de um silicato de alumínio, potássio, sódio ou cálcio, facilmente decomposto pelo intemperismo químico, transformando-se em argila.

FILTRAÇÃO - É o movimento laminar de um fluido em meio poroso saturado.

FISSURA - É uma fratura extensa.

FLUIDO - É uma substância capaz de fluir sob qualquer intensidade de tensão cisalhante; são gases e líquidos. É uma substância cujas partículas estão desordenadas e em movimento, mas formam um corpo sem separação de massa.

FLUXO DE BASE - É o fluxo que os rios mantêm durante os períodos de recesso interchuvas, proveniente das descargas dos aquíferos, principalmente.

FONTE - É aquela ocorrência de água subterrânea quando esta aflora de forma concentrada em superfície. Sinônimo: nascente.

FRATURA - Espaço vazio de uma formação geológica, ou seja, ruptura da crosta terrestre ou de corpos rochosos sem que haja deslocamento dos blocos resultantes.

GEOTERMALISMO - É o calor interno do globo terrestre. Manifesta-se nas regiões de contato entre placas tectônicas e onde existem atividades vulcânicas e também, embora em menor escala, em bacias sedimentares que possuem rochas permeáveis em grande profundidade e que se encontram sotopostas por uma cobertura impermeável que impede a perda de calor por convecção de fluidos para a superfície. O calor em reservatórios geotérmicos é armazenado, originalmente, nas rochas e não nos fluidos geológicos (vapor e água quente com substâncias minerais).

GEYSER - Fonte de águas termais em regiões vulcânicas que se caracteriza por ejetar intermitente vapor de água às vezes em intervalos de tempo precisamente iguais como os do Geysir Old Faithful, nos EUA.

GLACIAR - Do gelo ou das geleiras.

GNAISSE - Rocha metamórfica essencialmente quartzo-feldspática, granulação frequentemente média a grossa; a estrutura é muito variável desde maciça, granitoide, com foliação dada pelo achatamento dos grãos até bandada, com bandas, geralmente milimétricas a centimétricas, quartzo-feldspáticas alternadas com bandas mais máficas, derivada de processos de segregação metamórfica que culminam em rochas migmatíticas.

GONDWANA - Antigo continente, existente até o fim da era Paleozoica, quando América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártica estavam unidas (Terra dos Gonds, povo da Índia).

GRADIENTE GEOTÉRMICO (grau geotérmico) - Profundidade, em metros, necessária para que a temperatura aumente um (1) grau Celsius. O aumento da temperatura do interior da Terra por unidade de profundidade é de aproximadamente 3,3°C por 100 m. No Brasil, o gradiente geotérmico médio é de 1°C/30m.

INFILTRAÇÃO - É o processo de passagem de um fluido de um meio a outro, através de uma interface. Exemplo: passagem da água de chuva ao solo (da atmosfera à litosfera).

INTEMPERISMO - Conjunto de fenômenos químicos, físicos e biológicos que provocam a alteração das rochas, ou grupo de processo pelo qual as litologias expostas ao clima transformam-se e acabam gerando o solo; assim, geram íons adicionados às águas percolantes.

INTERFACE - É a região de mistura entre duas fases; é representada por uma superfície idealizada.

INTRUSIVA - Rocha ígnea formada pelo resfriamento de magma que ascendeu e se alojou em rochas preexistentes da crosta. Se as profundidades forem maiores, a rocha intrusiva faz parte de um corpo plutônico e, se forem rasas, em diques e sills com resfriamento mais rápido, formam corpos de rochas hipabissais.

ISOHIETA - É a linha que une pontos de igual quantidade de precipitação.

ISÓPACA - Representação em mapa das variações de espessura real de um corpo geológico através de linhas que unem pontos de mesma espessura em múltiplos de determinados valores e projetadas essas linhas verticalmente no plano do mapa.

ISOTROPIA - É a propriedade de um sistema em que as propriedades não variam segundo a direção. Antônimo: anisotropia.

JORRO - É o fluxo espontâneo de água de um poço em aquífero confinado. Sinônimo: artesianismo.

LATERÍTICAS (laterita) - Denominação genérica dada aos solos de cor vermelha das zonas úmidas e quentes; cientificamente, é o solo cujos principais elementos são o hidróxido de alumínio e o de ferro; sendo a rocha rica em alumina, laterita que dela se originar receberá o nome de bauxita, o principal minério de alumínio.

LENÇOL FREÁTICO - Superfície que delimita a zona de aeração e a zona saturada. A pressão da água nesta superfície está em equilíbrio com a pressão atmosférica. O lençol freático tende a acompanhar o modelo topográfico e oscila, ao longo do ano, sendo rebaixado com o escoamento para nascentes ou elevado com a incorporação de água infiltrada da chuva e/ou de degelo. Os lençóis freáticos abastecem os mananciais e são importantes como fonte de água para a população não abastecida por rede pública. Por serem rasos, são muito vulneráveis à poluição.

LITOLOGIA - É todo o material geológico formador da crosta terrestre. Exemplo: areia; argila; granito; sedimento; rocha.

LIVRE - O mesmo que freático.

LIXIVIAÇÃO - É o processo de dissolução por água percolante.

MAPA HIDROGEOLÓGICO - É uma representação bidimensional, sintética e escalada da distribuição areal dos vários sistemas aquíferos aflorantes de uma área, com características: geográficas (ex.: cidade); geométricas (ex.: limites); hidrológicas (ex.: área de recarga); hidrogeoquímicas (ex.: resíduo seco); hidráulicas (ex.: transmissibilidade); além dos dados de identificação e de significação do mapa.

METAMORFISMO - Transformação sofrida por uma rocha sob a ação de temperatura, pressão, gases e vapor de água, que produzem, isolada ou conjuntamente, uma recristalização parcial ou total, formando-se novos minerais e novas texturas sem ocorrer fusão da rocha.

METRO CÚBICO (m³) - Equivale a 1000 litros.

MICA BIOTITA - Mineral negro, placoide, facilmente alterada pelo intemperismo químico em climas úmidos e quentes. É um silicato de alumínio e ferro, podendo conter também manganês e titânio. Diferencia da mica branca (moscovita ou “malacacheta”) pela cor.

MONÇÃO - Vento periódico que, no verão, sopra do mar para o continente e inversamente no inverno, sendo típico do sul e sudeste da Ásia. Chuvas de monções = chuvas de verão.

NASCENTE - Quando o fluxo de água subterrânea intercepta a superfície do terreno, forma-se uma nascente. Há muitos tipos de nascentes, mas em geral a sua formação é condicionada pela existência de uma interface entre o nível freático ou potenciométrico de um corpo permeável (aquífero) e a superfície topográfica. Em terrenos ígneos e metamórficos, as nascentes estão, em geral, associadas a fraturas portadoras de água e interceptadas pelo relevo. Nem sempre, contudo, elas são visíveis, devido à cobertura por material inconsolidado, acumulado nas encostas. Nascente de um rio: é o local mais a montante de seu curso principal; local de onde a água emerge naturalmente, de uma rocha ou do solo, para a superfície do solo ou para uma massa de água superficial. Sinônimo: fonte.

NÍVEL FREÁTICO - Profundidade em que se encontra a superfície superior do lençol freático. Em linhas gerais, o nível freático acompanha, aproximadamente, a topografia do terreno.

ORGANOLÉPTICAS - São as propriedades da água que afetam os sentidos: cor; odor; sabor; calor. Normalmente a água subterrânea é incolor, inodora e insípida.

OROGRÁFICAS - Relativo às montanhas ou condicionado à existência de montanhas.

PÂNTANO - Grande depósito artificial de água formado por um muro grosso que se constrói através de um rio, arroio ou canal, para armazenar a água a fim de regular seu curso fora da bacia; zona, geralmente na desembocadura dos rios, mal drenada e permanentemente úmida. Terreno baixo inundado na estação das chuvas e geralmente úmido em qualquer época.

PERCOLAÇÃO - É a capacidade de um fluido deslocar-se em um meio poroso.

PERMEABILIDADE - Propriedade dos aquíferos de permitir o fluxo livre das águas. Para que um

material seja permeável, é necessário que seus poros tenham aberturas capazes de permitir o fluxo da água e que esses poros estejam conectados entre si, para que o fluxo se processe. Expressa a área (dos poros) disponível ao fluxo.

pH (potencial Hidrogeniônico) - É um parâmetro químico que indica a concentração de íons de hidrogênio numa solução aquosa, indicando quão ácida ou alcalina é uma substância. É representada por uma escala logarítmica que varia de 0 a 14. Valores abaixo de 7,0 são ácidos (corrosiva) e acima são alcalinos ou básica (incrustante). O valor 7,0 é neutro. As águas com pH maior do que 7,0 são as mais leves ao paladar.

PLUMA - Emissão contínua de poluentes a partir de uma fonte pontual e que tem uma expansão previsível. É o bulbo de poluição dentro de aquífero, a partir da fonte; indica a área afetada.

POÇO JORRANTE - Poço perfurado em aquífero artesiano, no qual a água jorra naturalmente na superfície do terreno.

POÇO RADIAL - Poço escavado com diâmetro maior do que o normal, que possui em sua parte inferior um conjunto de drenos cravados nas paredes e que penetram radialmente o aquífero, aumentando a área de captação de água e, portanto, a produção dele.

POÇO TUBULAR (artesiano) - É aquele perfurado em aquíferos artesianos ou confinados. O fenômeno do artesianismo é uma característica do aquífero e não do poço. Um poço perfurado à máquina, num aquífero livre, deve ser chamado de poço profundo ou poço tubular profundo, para se diferenciar dos poços rasos escavados manualmente. As companhias perfuradoras de poços têm usado erradamente o termo “poço artesiano” para todo e qualquer poço perfurado através de máquinas. A referência “poço artesiano” é incorreta.

PORO - É todo aquele espaço não sólido, dentro de um corpo sólido e pode ser: detritico, fraturado, vesicular, vugular.

POROSIDADE - Volume de vazios existentes nas rochas sedimentares e sedimentos não consolidados. Nestes os espaços vazios são poros intergranulares, homoganeamente distribuídos. Nas rochas ígneas e metamórficas os espaços vazios são constituídos por fraturas. A porosidade é expressa em termos percentuais e representa a quantidade de água que a unidade de volume de um material pode armazenar em seus vazios. Como exemplo, tem-se que um solo com porosidade igual a 15% é capaz de reter 150 litros de água por metro cúbico de solo. Abaixo do nível freático os poros são preenchidos totalmente por água e acima do nível freático por ar e parcialmente por água aderida à superfície dos grãos. Apesar da porosidade ser um fator importante na infiltração da água no solo, é necessário separá-la do conceito de permeabilidade, pois um solo argiloso pode ser muito poroso, mas ter pouca permeabilidade.

POTENCIAL EXPLOTÁVEL - Corresponde à quantidade de água que pode ser retirada do aquífero sem riscos para o sistema e que normalmente é calculada sobre 25% do total da reserva ativa ou reguladora.

PPM - É a abreviação de partes por milhão de solvente em soluto; é equivalente a miligramas por litro (mg/L) se a concentração da solução for baixa.

PROVÍNCIA HIDROGEOLÓGICA - É uma região que possui sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento; circulação e qualidade de água.

QUARTZO - Segundo mineral mais importante na formação das rochas graníticas e gnaisses da crosta terrestre. Sua fórmula química é SiO₂ (óxido de silício), é mais duro do que os feldspatos. É um mineral dificilmente atacado pelo intemperismo químico, razão pela qual forma a fração arenosa dos solos. No processo de transporte é separado, sendo depositado em locais diferentes daqueles onde são depositadas as argilas originadas pela decomposição dos feldspatos e micas.

REBAIXAMENTO - É o descenso da superfície potenciométrica do aquífero abaixo do nível inicial.

RECARGA - É a quantidade de água adicionada ao aquífero na área onde aflora, no intervalo considerado; unidade: altura por tempo (mm/dia); pode ser natural ou artificial. O mesmo que alimentação.

RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS RENOVÁVEIS (RHIR) - Inclui a média anual do escoamento dos rios e a recarga dos aquíferos oriundos da precipitação que ocorre dentro dos limites do país ou região. Medida em quilômetros cúbicos por ano (km³/ano).

RECURSOS HÍDRICOS TOTAIS RENOVÁVEIS (RHTR) - É a soma dos recursos hídricos internos renováveis e do escoamento superficial proveniente de outro país ou região, que se dá em um ano. Medida em quilômetros cúbicos por ano (km³/ano).

REELEVAMENTO - É a subida do nível potenciométrico acima do nível inicial. Antônimo: rebaixamento.

REGIME HIDROLÓGICO - Conjunto das variações do estado e das características de uma massa de água que se repetem regularmente no tempo e no espaço, incluindo as variações cíclicas, por exemplo, as sazonais.

RESERVA - É a quantidade de água existente no sistema. Unidade: m³.

RESERVA ATIVA ou **REGULADORA DO AQUÍFERO** - Corresponde à quantidade de água que alimenta o aquífero anualmente. Pode ser direta ou indireta. Unidade: m³/ano ou km³/ano.

RESERVA PERMANENTE DO AQUÍFERO - Corresponde à quantidade de água armazenada no aquífero. Unidade: m³ ou km³.

RESIDÊNCIA, Tempo de - É o tempo em que teoricamente uma molécula de água permanece no sistema hídrico. Indica o tempo de renovação das reservas.

RESÍDUO SECO - É o parâmetro químico que indica a quantidade de íons dissolvidos em água; obtido por evaporação em estufa; unidade: mg/L, ppm. Em água subterrânea, está na ordem da centena de ppm. Sinônimo: Total de Sólidos Dissolvidos.

RETENÇÃO - É a capacidade do meio poroso de imobilizar a água por molhamento; deve-se a forças moleculares e corresponde à água pelicular. Assim, parte da água infiltrada fica indisponível ao fluxo na zona de aeração.

ROCHA - É a litologia agregada, formando um corpo sólido.

ROCHA ENCAIXANTE - Rocha ou conjunto de rochas onde se encaixou uma intrusão ígnea (sill, dique), um depósito mineral, um domo de sal ou outra massa rochosa diferenciada e geralmente mais jovem.

SEDIMENTO - É a litologia depositada e não consolidada. Exemplo: areia.

SILL (soleira) - Corpo ígneo tabular semelhante a um dique do qual se distingue por ser intrusivo paralelamente à estrutura planar (estratificação, xistosidade, clivagem ardosiana) da rocha encaixante.

SILTE - Fragmento de mineral ou rocha menor do que areia fina e maior do que argila. Como depósito sedimentar corresponde a material muito fino e friável e que à medida que se combina com argila, nos sedimentos síltico-argilosos, torna-se mais coeso e plástico.

SISTEMA AQUÍFERO - É a unidade aquífera formada por mais de uma formação geológica, com características hidrogeológicas semelhantes e que hidráulicamente estão interconectadas.

SOBRE-EXPLOTAÇÃO (superexploração) - É a retirada de água subterrânea em excesso em relação à norma fixada, ligada à conservação do equilíbrio ao longo termo.

SUBSIDÊNCIA DE SOLOS - É o movimento para baixo ou afundamento do solo causado pela perda de suporte subjacente, provocando uma compactação diferenciada do terreno que leva ao colapso das construções civis.

SUPERFÍCIE FREÁTICA - Designada para um aquífero livre ou poços (cacimbas) e representa o nível da água no interior do poço.

SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA - É aquela em que se estabelece o nível da água do aquífero; indica o nível de energia mecânica da água; ou seja, é a altura da água na qual o aquífero encontra-se submetido. Pode ser contínua (aquífero livre) ou descontínua (confinado); a diferença de altura entre tal superfície e a topográfica dá a profundidade da água subterrânea. Sinônimo: freática (livre), no caso de aquíferos livres; potenciométrica (confinada), no caso de aquíferos confinados.

TAXA DE RENOVAÇÃO - Relação entre a alimentação média anual de um aquífero, expressa em unidades de volume, e o armazenamento médio de águas subterrâneas de um aquífero.

TEMPO GEOLÓGICO - Escala de tempo usada no estudo de fenômenos geológicos, tendo como unidade milhões de anos.

TRANSGRESSÃO - Sedimentação decorrente do avanço do mar sobre uma região. Em oposição, tem-se regressão, que acontece com o recuo do nível do mar, transformando áreas de sedimentação em áreas emersas, sujeitas ao retrabalhamento pela erosão.

TRANSMISSIBILIDADE - É o parâmetro hidráulico que indica a capacidade do aquífero de transmitir água, em toda a sua espessura saturada; fisicamente, é a vazão do aquífero por unidade de largura (perpendicular ao fluxo) em função de um gradiente hidráulico unitário, numa base de área unitária. Unidade: m²/dia.

TRANSPIRAÇÃO - Processo pelo qual a água absorvida pelos vegetais se evapora para a atmosfera.

USO DE ÁGUA NA AGRICULTURA - Inclui principalmente irrigação e em escala bem menor manutenção de animais.

USO DE ÁGUA NO SETOR DOMÉSTICO - inclui dessedentação mais o uso nas casas, municipalidades, estabelecimentos comerciais e serviços públicos. Exemplo: hospitais.

VAZÃO - É o volume de água que passa na área perpendicular à direção do fluxo, num dado tempo; ocorrem em função do gradiente de potencial; unidade: m³/s. Sinônimo: descarga.

ZONA ÁRIDA - Região onde a evaporação excede permanentemente a precipitação.

ZONA DE AERAÇÃO - região entre o lençol freático e a superfície do terreno. Recebe este nome porque está preenchida por ar atmosférico e contém pouca água, na forma de umidade. Esta camada do solo é importante na purificação das águas que se infiltram, atuando como filtro, como zona de oxidação de matéria orgânica e de retenção de uma gama variada de metais pesados; é a zona não saturada acima da superfície freática; inclui a zona capilar. Em contraposição com a zona de saturação. Sinônimo: aerada, vadosa, insaturada, não saturada.

ZONA DE RECARGA - Local ou área onde a água passa da superfície do terreno para o interior do solo, indo alcançar a zona saturada. Área onde ocorre infiltração capaz de alimentar o aquífero.

ZONA SATURADA - Região em que todos os poros e fraturas estão completamente preenchidos por água. Sua superfície superior dá origem ao lençol de água. Acima dela está a zona não saturada. Sinônimo: zona de saturação.

ZONA SEMIÁRIDA - Região onde a evaporação excede frequentemente a precipitação.

ERAS E ÉPOCAS GEOLÓGICAS

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	TEMPO
Cenozoica	Quaternário	Holoceno	25 mil anos atrás
		Pleistoceno	1 milhão
	Terciário	Plioceno	12 milhões
		Mioceno	23 milhões
		Oligoceno	35 milhões
		Eoceno	55 milhões
Mesozoica	Cretáceo	Paleoceno	70 milhões
		Jurássico	135 milhões
		Triássico	180 milhões
Paleozoica	Permiano	270 milhões	270 milhões
		Carbonífero	350 milhões
		Devoniano	400 milhões
		Siluriano	430 milhões
		Ordoviciano	490 milhões
		Cambriano	600 milhões
Pré-Cambriana ou Arqueozoica			Anterior a 600 milhões de anos

FONTE: Leinz e Mendes (1963)

Apêndice Abrangência do Aquífero Guaraní na Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil

Argentina

PROVÍNCIA DE MISIONES			
25 de Mayo	Concepción	Leandro N. Alem	San Javier
Apóstoles	Eldorado	Libertador General San Martín	San Pedro
Caingúas	General Manuel Belgrano	Montecarlo	
Candelaria	Guaraní	Oberá	
Capital	Iguazú	San Ignacio	

PROVÍNCIA DE CORRIENTES			
Bella Vista	General Alvear	Mercedes	San Miguel
Berón de Astrada	General Paz	Monte Caseros	San Roque
Concepción	Goya	Paso de los Libres	Santo Tomé
Curuzú Cuatiá	Ituzaingó	Saladas	Sauce
Empedrado	Lavalle	San Luis del Palmar	
Esquina	Mburucuyá	San Martín	

PROVÍNCIA DE ENTRE RIOS			
Colón	Federal	Paraná	Victoria
Concordia	Feliciano	San Salvador	Villaguay
Diamante	La Paz	Tala	
Federación	Nogoyá	Uruguay	

Paraguai

DEPARTAMENTO DE CONCEPCIÓN			
Distrito localizado em área de afloramento			
Yby Ya'u			

DEPARTAMENTO DE AMAMBAY			
Distritos localizados em área de afloramento			
Bella Vista	Capitán Bado	Pedro Juan Caballero	

DEPARTAMENTO DE SAN PEDRO			
Distritos localizados em área de afloramento			
Capiibary	Guayaibi	San Estanislao	Tacuatí
Choré	Lima	Santa Rosa del Aguaray	Yataity Del Norte
Gral. Isidro Resquín	Nueva Germania	Unión	

DEPARTAMENTO DE CANINDEYÚ			
Gral. Francisco Álvarez	La Paloma	Salto del Guairá	
Distritos localizados em área de afloramento			
Corpus Christi	Itanará	Nueva Esperanza	Ypehú
Curuguaty	Katueté	Ygatimi	

DEPARTAMENTO DE ALTO PARANÁ			
Ciudad del Este	Hernandarias	Mbaracayú	Presidente Franco
Domingo Martínez de Irala	Los Cedrales	Ñacunday	
Distritos localizados em área de afloramento			
Dr. Juan León Mallorquín	Juan E. O'leary	Naranjal	Santa Rita
Iruña	Minga Gauzú	San Alberto	Santa Rosa del Monday
Itaquyry	Minga Porá	San Cristóbal	Yguazú

DEPARTAMENTO DE NEEMBUCÚ			
Distrito localizado em área de afloramento			
Tacuaras			

DEPARTAMENTO DE CAAZAPÁ			
Distritos localizados em área de afloramento			
Abaí	Gral. Higinio Morínigo	Tavaí	Yuty
Buena Vista	San Juan Nepomuceno		

DEPARTAMENTO DE MISIONES			
Ayolas			
Distritos localizados em área de afloramento			
San Ignacio	San Patricio	Santa Rosa	Yabebyry
San Juan Bautista	Santa Mariá	Santiago	

DEPARTAMENTO DE GUAIRÁ			
Distritos localizados em área de afloramento			
Paso Yobai	Cap. Mauricio José Troche	Independencia	José Fasardi

DEPARTAMENTO DE ITAPUÁ			
Cambyreta	Encarnación	Mayor Otaño	San Juan del Paraná
Capitán Meza	Fram	Natalio	Trinidad
Capitán Miranda	General Delgado	Nueba Alborada	Yatyty
Carlos Antonio López	Jesús	San Cosme Y Damián	
Distritos localizados em área de afloramento			
Alto Verá	Edelira	La Paz	San Rafael Del Paraná
Bella Vista	General Artigas	Obligado	Tomás Romero Pereira
Carmen Del Paraná	Hohenau	Pirapó	
Coronel Bogado	Itapúa Poty	San Pedro Del Paraná	

DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ			
Distritos localizados em área de afloramento			
3 de Febrero	Jose Domingo Ocampos	Repatriación	Simón Bolívar
Caaguazú	Mcal Francisco Solano López	San Joaquín	San Joaquín
Dr. J. Eulogio Estigarribia	Raul Arsenio Oviedo	Santa Rosa del Mbutuy	Yhú
Dr. Juan Manuel Frutos			

Uruguai

DEPARTAMENTO DE ARTIGAS			
Artigas	Bernabe Rivera	Javier de Viana	Sequeira
Baltasar Brum	Coronado	Las Piedras	Tomás Gomensoro
Bella Unión	Franquia	Portones De Hierro	

DEPARTAMENTO DE SALTO			
Belén	Chacras de Belén	Salto	Saucedo
Biassini	Constitución	San Antonio	

DEPARTAMENTO DE PAYSANDU			
Beisso	Lorenzo Geyres	Piedra Sola	Quebracho
Casablanca	Merinos	Piedras Coloradas	San Felix
Guichon	Paysandu	Porvenir	Tambores

DEPARTAMENTO DE RIVERA			
Distritos localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Rivera	Tranqueras		

DEPARTAMENTO DE TACUAREMBO			
Distritos localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Achar	Paso de los Toros	Tacuarembó	Tambores
Curtina	Rincón del Bonete		

DEPARTAMENTO DE RIO NEGRO			
Algorta	Sarandi de Navarro	Villa Maria	Young

DEPARTAMENTO DE DURAZNO			
Blanquillo	Carlos Reyles	San Jorge	

Brasil

GOIÁS			
Acreúna	Castelândia	Joviânia	Pontalina
Aloândia	Edealina	Lagoa Santa	Porteirão
Aparecida do Rio Doce	Edeia	Maurilândia	Quirinópolis
Bom Jesus de Goiás	Goiatuba	Montividiu	Santa Helena de Goiás
Buriti Alegre	Gouvelândia	Morrinhos	Santo Antônio da Barra
Cachoeira Alta	Inaciolândia	Palminópolis	São João da Paraúna
Cachoeira Dourada	Itajá	Panamá	São Simão
Caçu	Itumbiara	Paranaiguara	Turvelândia
Caiapônia	Jandaia	Paraúna	Vicentinópolis
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Aporé	Jataí	Portelândia	Serranópolis
Chapadão do Céu	Mineiros	Rio Verde	
Itarumã	Perolândia	Santa Rita do Araguaia	

MATO GROSSO			
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Alto Araguaia	Alto Taquari	Itiquira	Pedra Preta
Alto Garças			

MATO GROSSO DO SUL			
Água Clara	Deodópolis	Japorã	Paranhos
Amambaí	Douradina	Jateí	Ribas do Rio Pardo
Anaurilândia	Dourados	Juti	Rio Brillhante
Angélica	Eldorado	Laguna Carapã	Santa Rita do Pardo
Aparecida do Taboado	Fátima do Sul	Maracaju	Selvíria
Aral Moreira	Glória de Dourados	Mundo Novo	Sete Quedas
Bataguassu	Iguatemi	Naviraí	Tacuru
Batayporã	Inocência	Nova Alvorada do Sul	Taquarussu
Brasilândia	Itaporã	Nova Andradina	Três Lagoas
Caarapó	Itaquiraí	Novo Horizonte do Sul	Vicentina
Coronel Sapucaia	Ivinhema	Paranaíba	
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Alcinópolis	Campo Grande	Figueirão	Rio Negro
Anastácio	Cassilândia	Guia Lopes da Laguna	Rio Verde de Mato Grosso
Antônio João	Chapadão do Sul	Jaraguari	Rochedo
Aquidauana	Corguinho	Jardim	São Gabriel do Oeste
Bandeirantes	Costa Rica	Nioaque	Sidrolândia
Bela Vista	Coxim	Pedro Gomes	Sonora
Camapuã	Dois Irmãos do Buriti	Ponta Porã	Terenos

MINAS GERAIS			
Água Comprida	Conceição das Alagoas	Iturama	Santa Juliana
Araguari	Conquista	Limeira do Oeste	Santa Vitória
Araporã	Delta	Monte Alegre de Minas	São Francisco de Sales
Araxá	Estrela do Sul	Monte Carmelo	Tapira
Campina Verde	Fronteira	Nova Ponte	Tupaciguara
Campo Florido	Frutal	Patrocínio	Uberaba
Canápolis	Gurinhata	Pedrinópolis	Uberlândia
Capinópolis	Indianópolis	Perdizes	União de Minas
Carneirinho	Ipiacu	Pirajuba	Veríssimo
Cascalho Rico	Iraí de Minas	Planura	
Centralina	Itapagipe	Prata	
Comendador Gomes	Ituiutaba	Romaria	
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Capetinga	Ibiraci	Monte Santo de Minas	São Sebastião do Paraíso
Cássia	Itamogi	Pratápolis	São Tomás de Aquino
Claraval	Jacuí	Sacramento	

PARANÁ			
Abatiá	Bandeirantes	Cambé	Cornélio Procópio
Altamira do Paraná	Barbosa Ferraz	Cambira	Coronel Domingos Soares
Alto Paraíso (Vila Alta)	Barra do Jacaré	Campina da Lagoa	Coronel Vivida
Alto Paraná	Barracão	Campina do Simão	Corumbataí do Sul
Alto Piquiri	Bela Vista da Caroba	Campo Bonito	Cruzeiro do Iguaçu
Altônia	Bela Vista do Paraíso	Campo Mourão	Cruzeiro do Oeste
Alvorada do Sul	Bituruna	Candói	Cruzeiro do Sul
Amaporã	Boa Esperança	Cantagalo	Diamante d'Oeste
Ampére	Boa Esperança do Iguaçu	Capanema	Diamante do Norte
Anahy	Boa Vista da Aparecida	Capitão Leônidas Marques	Diamante do Sul
Andirá	Bom Jesus do Sul	Cascavel	Dois Vizinhos
Ângulo	Bom Sucesso	Catanduvás	Douradina
Apucarana	Bom Sucesso do Sul	Centenário do Sul	Doutor Camargo
Arapongas	Braganey	Céu Azul	Enéas Marques
Arapuã	Brasilândia do Sul	Chopininho	Engenheiro Beltrão
Araruna	Cafeara	Cianorte	Entre Rios do Oeste
Assaí	Cafelândia	Cidade Gaúcha	Esperança Nova
Assis Chateaubriand	Cafezal do Sul	Clevelândia	Espigão Alto do Iguaçu
Astorga	Califórnia	Colorado	Farol
Atalaia	Cambará	Corbélia	Fênix

PARANÁ			
Flor da Serra do Sul	Jandaia do Sul	Mirador	Planalto
Floraí	Janiópolis	Miraselva	Porecatu
Floresta	Japurá	Missal	Porto Barreiro
Florestópolis	Jardim Alegre	Moreira Sales	Porto Rico
Flórida	Jardim Olinda	Munhoz de Melo	Prado Ferreira
Formosa do Oeste	Jataizinho	Nossa Senhora das Graças	Pranchita
Foz do Iguaçu	Jesuítas	Nova Aliança do Ivaí	Presidente Castelo Branco
Foz do Jordão	Juranda	Nova América da Colina	Primeiro de Maio
Francisco Alves	Jussara	Nova Aurora	Quarto Centenário
Francisco Beltrão	Laranjal	Nova Cantu	Quatro Pontes
General Carneiro	Laranjeiras do Sul	Nova Esperança	Quedas do Iguaçu
Godoy Moreira	Leópolis	Nova Esperança do Sudoeste	Querência do Norte
Goioerê	Lidianópolis	Nova Laranjeiras	Quinta do Sol
Goioxim	Lindoeleste	Nova Londrina	Ramilândia
Guaira	Loanda	Nova Olímpia	Rancho Alegre
Guairaçá	Lobato	Nova Prata do Iguaçu	Rancho Alegre d'Oeste
Guaporema	Luiziana	Nova Santa Bárbara	Realeza
Guaraci	Lunardelli	Nova Santa Rosa	Renascença
Guaraniaçu	Lupionópolis	Nova Tebas	Reserva do Iguaçu
Honório Serpa	Mamborê	Ourizona	Rio Bonito do Iguaçu
Ibema	Mandaguaçu	Ouro Verde do Oeste	Rolândia
Ibiporã	Mandaguari	Paiçandu	Roncador
Icaraíma	Manfrinópolis	Palmas	Rondon
Iguaraçu	Mangueirinha	Palmital	Sabáudia
Iguatu	Marechal Cândido Rondon	Palotina	Salgado Filho
Inajá	Maria Helena	Paraíso do Norte	Salto do Lontra
Indianópolis	Marialva	Paranacity	Santa Amélia
Iporã	Marilena	Paranapoema	Santa Cecília do Pavão
Iracema do Oeste	Mariluz	Paranavaí	Santa Cruz de Monte Castelo
Iretama	Maringá	Pato Bragado	Santa Fé
Itaguajé	Mariópolis	Pato Branco	Santa Helena
Itaipulândia	Maripá	Peabiru	Santa Inês
Itambaracá	Marmeleiro	Perobal	Santa Isabel do Ivaí
Itambé	Marquinho	Pérola	Santa Izabel do Oeste
Itapejara d'Oeste	Marumbi	Pérola d'Oeste	Santa Lúcia
Itaúna do Sul	Matelândia	Pinhal de São Bento	Santa Maria do Oeste
Ivaté	Mato Rico	Pinhão	Santa Mariana
Ivatuba	Medianeira	Pitangueiras	Santa Mônica
Jaguapitã	Mercedes	Planaltina do Paraná	Santa Tereza do Oeste

PARANÁ			
Santa Terezinha de Itaipu	São José das Palmeiras	Sertanópolis	Ubiratã
Santo Antônio do Caiuá	São Manoel do Paraná	Sulina	Umuarama
Santo Antônio do Paraíso	São Miguel do Iguaçu	Tamboara	Uniflor
Santo Antônio do Sudoeste	São Pedro do Iguaçu	Tapejara	Uraí
Santo Inácio	São Pedro do Ivaí	Tapira	Vera Cruz do Oeste
São Carlos do Ivaí	São Pedro do Paraná	Terra Boa	Verê
São João	São Sebastião da Amoreira	Terra Rica	Virmond
São João do Caiuá	São Tomé	Terra Roxa	Vitorino
São João do Ivaí	Sarandi	Toledo	Xambrê
São Jorge d'Oeste	Saudade do Iguaçu	Três Barras do Paraná	
São Jorge do Ivaí	Serranópolis do Iguaçu	Tuneiras do Oeste	
São Jorge do Patrocínio	Sertaneja	Tupãssi	
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Ariranha do Ivaí	Irati	Nova Fátima	Rio Bom
Boa Ventura de São Roque	Ivaiporã	Novo Itacolomi	Rio Branco do Ivaí
Borrazópolis	Jacarezinho	Ortigueira	Rosário do Ivaí
Cândido de Abreu	Joaquim Távora	Paula Freitas	Santo Antônio da Platina
Congonhinhas	Jundiá do Sul	Paulo Frontin	Santo Antônio do Paraíso
Cruz Machado	Kaloré	Pitanga	São Jerônimo da Serra
Cruzmaltina	Londrina	Porto Vitória	Sapopema
Faxinal	Mallet	Prudentópolis	Tamarana
Grandes Rios	Manoel Ribas	Ribeirão Claro	Turvo
Guarapuava	Marilândia do Sul	Ribeirão do Pinhal	União da Vitória
Inácio Martins	Mauá da Serra	Rio Azul	

RIO GRANDE DO SUL			
Água Santa	Arroio do Meio	Benjamin Constant do Sul	Cacique Doble
Ajuricaba	Arroio do Tigre	Bento Gonçalves	Caibaté
Alecrim	Arvorezinha	Boa Vista das Missões	Caiçara
Alegria	Augusto Pestana	Boa Vista do Buricá	Camargo
Almirante Tamandaré do Sul	Áurea	Boa Vista do Cadeado	Cambará do Sul
Alpestre	Barão	Boa Vista do Incra	Campestre da Serra
Alto Alegre	Barão de Cotegipe	Boa Vista do Sul	Campina das Missões
Alto Feliz	Barra do Guarita	Bom Jesus	Campinas do Sul
Ametista do Sul	Barra do Quarai	Bom Progresso	Campo Novo
André da Rocha	Barra do Rio Azul	Boqueirão do Leão	Campos Borges
Anta Gorda	Barra Funda	Bossoroca	Cândido Godói
Antônio Prado	Barracão	Bozano	Canela
Aratiba	Barros Cassal	Braga	Canudos do Vale

RIO GRANDE DO SUL			
Capão Bonito do Sul	Doutor Maurício Cardoso	Horizontina	Miraguaí
Capão da Canoa	Doutor Ricardo	Humaitá	Montauri
Capão da Cipó	Encantado	Ibiaçá	Monte Alegre dos Campos
Capitão	Engenho Velho	Ibiraiaras	Monte Belo do Sul
Carazinho	Entre Rios do Sul	Ibirapuitã	Mormaço
Carlos Barbosa	Entre-Ijuís	Ibirubá	Morro Reuter
Carlos Gomes	Erebango	Ijuí	Muçum
Casca	Erechim	Ilópolis	Muitos Capões
Caseiros	Ernestina	Imbé	Muliterno
Catuípe	Erval Grande	Imigrante	Não-Me-Toque
Caxias do Sul	Erval Seco	Independência	Nicolau Vergueiro
Centenário	Esmeralda	Inhacorá	Nonoai
Cerro Grande	Esperança do Sul	Ipê	Nova Alvorada
Cerro Largo	Espumoso	Ipiranga do Sul	Nova Araçá
Chapada	Estação	Iraí	Nova Bassano
Charrua	Estrela Velha	Itacurubi	Nova Boa Vista
Chiapetta	Eugênio de Castro	Itapuca	Nova Brésia
Ciriaco	Fagundes Varela	Itatiba do Sul	Nova Candelária
Colinas	Farroupilha	Jaboticaba	Nova Pádua
Colorado	Faxinalzinho	Jacuzinho	Nova Petrópolis
Condor	Flores da Cunha	Jacutinga	Nova Prata
Constantina	Floriano Peixoto	Jaquirana	Nova Ramada
Coqueiro Baixo	Fontoura Xavier	Jari	Nova Roma do Sul
Coqueiros do Sul	Forquethina	Joia	Novo Barreiro
Coronel Barros	Fortaleza dos Valos	Lagoa Bonita do Sul	Novo Machado
Coronel Bicaco	Frederico Westphalen	Lagoa dos Três Cantos	Novo Tiradentes
Coronel Pilar	Garibaldi	Lagoa Vermelha	Novo Xingu
Cotiporã	Garruchos	Lagoão	Paim Filho
Coxilha	Gaurama	Lajeado	Palmeira das Missões
Crissiumal	Gentil	Lajeado do Bugre	Palmitinho
Cristal do Sul	Getúlio Vargas	Liberato Salzano	Panambi
Cruz Alta	Giruí	Machadinho	Parai
Cruzaltense	Gramado	Marau	Passa Sete
David Canabarro	Gramado dos Loureiros	Marcelino Ramos	Passo Fundo
Derrubadas	Gramado Xavier	Mariano Moro	Paulo Bento
Dezesseis de Novembro	Guabiju	Marques de Souza	Pejuçara
Dois Irmãos das Missões	Guaporé	Mato Castelhana	Pinhal
Dois Lajeados	Guarani das Missões	Mato Queimado	Pinhal da Serra
Dom Pedro de Alcântara	Herveiras	Maximiliano de Almeida	Pinhal Grande

RIO GRANDE DO SUL			
Pinheirinho do Vale	Sananduva	São Pedro do Butiá	Três Passos
Pirapó	Santa Bárbara do Sul	São Valentim	Trindade do Sul
Planalto	Santa Cecília do Sul	São Valentim do Sul	Tucunduva
Pontão	Santa Clara do Sul	São Valério do Sul	Tunas
Ponte Preta	Santa Maria do Herval	São Vendelino	Tupanci do Sul
Porto Lucena	Santa Rosa	Sarandi	Tupanciretã
Porto Mauá	Santa Tereza	Seberi	Tupandi
Porto Vera Cruz	Santo Ângelo	Sede Nova	Tuparendi
Porto Xavier	Santo Antônio das Missões	Segredo	Ubiretama
Pouso Novo	Santo Antônio do Palma	Selbach	União da Serra
Progresso	Santo Antônio do Planalto	Senador Salgado Filho	Vacaria
Protásio Alves	Santo Augusto	Serafina Corrêa	Vale Real
Putinga	Santo Cristo	Sério	Vanini
Quatro Irmãos	Santo Expedito do Sul	Sertão	Veranópolis
Quinze de Novembro	São Domingos do Sul	Sete de Setembro	Vespasiano Correa
Redentora	São João da Urtiga	Severiano de Almeida	Viadutos
Relvado	São Jorge	Sobradinho	Vicente Dutra
Rio dos Índios	São José das Missões	Soledade	Victor Graeff
Riozinho	São José do Herval	Tapejara	Vila Flores
Roca Sales	São José do Inhacorá	Tapera	Vila Lângaro
Rodeio Bonito	São José do Ouro	Taquaruçu do Sul	Vila Maria
Rolador	São José dos Ausentes	Tenente Portela	Vista Alegre
Ronda Alta	São Luiz Gonzaga	Teutônia	Vista Alegre do Prata
Rondinha	São Marcos	Tio Hugo	Vista Gaúcha
Roque Gonzales	São Martinho	Tiradentes do Sul	Vitória das Missões
Sagrada Família	São Miguel das Missões	Travesseiro	Xangrilá
Saldanha Marinho	São Nicolau	Três Arroios	
Salto do Jacuí	São Paulo das Missões	Três de Maio	
Salvador das Missões	São Pedro das Missões	Três Palmeiras	
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Agudo	Campo Bom	Estância Velha	Harmonia
Alegrete	Candelária	Estrela	Ibarama
Araricá	Capela de Santana	Faxinal do Soturno	Igrejinha
Bom Princípio	Caraá	Fazenda Vilanova	Itaara
Bom Retiro do Sul	Cerro Branco	Feliz	Itaqui
Brochier	Cruzeiro do Sul	Formigueiro	Itati
Butiá	Dilermando de Aguiar	General Câmara	Ivorá
Cacequi	Dois Irmãos	Glorinha	Ivoti
Cachoeira do Sul	Dona Francisca	Gravataí	Jaguari

RIO GRANDE DO SUL			
Júlio de Castilhos	Paraíso do Sul	Santiago	Tabaí
Lindolfo Collor	Pareci Novo	Santo Antônio da Patrulha	Taquara
Linha Nova	Parobé	São Borja	Taquari
Maçambará	Passo do Sobrado	São Francisco de Assis	Terra de Areia
Mampituba	Paverama	São Francisco de Paula	Toropi
Manoel Viana	Picada Café	São Gabriel	Torres
Maquiné	Portão	São João do Polésine	Três Cachoeiras
Maratá	Presidente Lucena	São José do Hortêncio	Três Coroas
Mata	Quaraí	São José do Sul	Três Forquilhas
Montenegro	Quevedos	São Leopoldo	Triunfo
Morrinhos do Sul	Restinga Seca	São Martinho da Serra	Unistalda
Nova Esperança do Sul	Rio Pardo	São Pedro do Sul	Uruguaiana
Nova Hartz	Rolante	São Sebastião do Caí	Vale do Sol
Nova Palma	Rosário do Sul	São Vicente do Sul	Vale Verde
Novo Cabrais	Santa Cruz do Sul	Sapiranga	Venâncio Aires
Novo Hamburgo	Santa Maria	Silveira Martins	Vera Cruz
Osório	Santana do Livramento	Sinimbu	

SANTA CATARINA			
Abdon Batista	Caibi	Descanso	Iporã do Oeste
Abelardo Luz	Calmon	Dionísio Cerqueira	Ipuacu
Água Doce	Campo Belo do Sul	Entre Rios	Ipumirim
Águas de Chapecó	Campo Erê	Erval Velho	Iraceminha
Águas Frias	Campos Novos	Faxinal dos Guedes	Irani
Alto Bela Vista	Capão Alto	Flor do Sertão	Irati
Anchieta	Capinzal	Formosa do Sul	Itá
Anita Garibaldi	Catanduvas	Fraiburgo	Itapiranga
Arabutã	Caxambu do Sul	Frei Rogério	Jaborá
Arroio Trinta	Celso Ramos	Galvão	Jardinópolis
Arvoredo	Cerro Negro	Guaraciaba	Joaçaba
Bandeirante	Chapecó	Guarujá do Sul	Jupia
Barra Bonita	Concórdia	Guatambú	Lacerdópolis
Belmonte	Cordilheira Alta	Herval d'Oeste	Lajeado Grande
Bom Jesus	Coronel Freitas	Ibiam	Lebon Régis
Bom Jesus do Oeste	Coronel Martins	Ibicaré	Lindóia do Sul
Brunópolis	Cunha Porã	Iomerê	Luzerna
Caçador	Cunhataí	Ipira	Macieira

SANTA CATARINA			
Maravilha	Passos Maia	Santa Helena	Sul Brasil
Marema	Peritiba	Santa Terezinha do Progresso	Tangará
Matos Costa	Pinhalzinho	Santiago do Sul	Tigrinhos
Modelo	Pinheiro Preto	São Bernardino	Treze Tílias
Mondaí	Piratuba	São Carlos	Tunápolis
Monte Carlo	Planalto Alegre	São Domingos	União do Oeste
Nova Erechim	Ponte Serrada	São João do Oeste	Vargeão
Nova Itaberaba	Presidente Castello Branco	São Joaquim	Vargem
Novo Horizonte	Princesa	São José do Cedro	Vargem Bonita
Ouro	Quilombo	São Lourenço do Oeste	Videira
Ouro Verde	Rio das Antas	São Miguel da Boa Vista	Xanxerê
Paial	Riqueza	São Miguel do Oeste	Xavantina
Palma Sola	Romelândia	Saudades	Xaxim
Palmitos	Saltinho	Seara	Zortéa
Paraíso	Salto Veloso	Serra Alta	
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Alfredo Wagner	Jacinto Machado	Ponte Alta do Norte	São José do Cerrito
Anitápolis	Lages	Porto União	Siderópolis
Bela Vista do Toldo	Lauro Mueller	Praia Grande	Sombrio
Bocaina do Sul	Major Vieira	Rio do Campo	Taió
Bom Jardim da Serra	Mirim Doce	Rio Fortuna	Timbé do Sul
Bom Retiro	Monte Castelo	Rio Rufino	Timbó Grande
Canoinhas	Morro Grande	Santa Cecília	Treviso
Correia Pinto	Nova Veneza	Santa Rosa de Lima	Urubici
Curitibanos	Orleans	Santa Rosa do Sul	Urupema
Grão Pará	Painel	São Cristovão do Sul	
Irineópolis	Ponte Alta	São João do Sul	

SÃO PAULO			
Adamantina	Álvaro de Carvalho	Arealva	Balbinos
Adolfo	Alvinlândia	Areiópolis	Bálsamo
Águas de Santa Bárbara	Américo de Campos	Ariranha	Barbosa
Agudos	Andradina	Aspásia	Barra Bonita
Alfredo Marcondes	Anhumas	Assis	Barretos
Altair	Aparecida d'Oeste	Auriflama	Barrinha
Alto Alegre	Araçatuba	Avaí	Bastos
Álvares Florence	Aramina	Avanhandava	Batatais
Álvares Machado	Arco-Íris	Bady Bassitt	Bauru

SÃO PAULO			
Bebedouro	Duartina	Iaras	Lutécia
Bento de Abreu	Dumont	Ibirá	Macatuba
Bernardino de Campos	Echaporã	Ibirarema	Macaubal
Bilac	Elsiário	Icém	Macedônia
Birigui	Embaúba	Iepê	Magda
Borá	Emilianópolis	Igarapu do Tietê	Manduri
Boraceia	Espírito Santo do Turvo	Igarapava	Marabá Paulista
Borborema	Estrela d'Oeste	Ilha Solteira	Maracá
Borebi	Estrela do Norte	Indiana	Marapoama
Braúna	Euclides da Cunha Paulista	Indiaporã	Mariópolis
Brejo Alegre	Fernando Prestes	Inúbia Paulista	Marília
Buritama	Fernandópolis	Ipaussu	Marinópolis
Buritizal	Fernão	Ipiruá	Martinópolis
Cabrália Paulista	Flora Rica	Ipuã	Matão
Cafelândia	Floreal	Irapuã	Mendonça
Caiabu	Flórida Paulista	Irapuru	Meridiano
Caiuá	Florínia	Itajobi	Mesópolis
Cajobi	Gabriel Monteiro	Itápolis	Miguelópolis
Campos Novos Paulista	Gália	Itapuí	Mira Estrela
Cândido Mota	Garça	Itapura	Mirandópolis
Cândido Rodrigues	Gastão Vidigal	Ituverava	Mirante do Paranapanema
Canitar	General Salgado	Jaborandi	Mirassol
Cardoso	Getulina	Jaboticabal	Mirassolândia
Castilho	Glicério	Jaci	Monções
Catanduva	Guaiçara	Jales	Monte Alto
Catiguá	Guaimbê	Jardinópolis	Monte Aprazível
Cedral	Guaíra	Jeriquara	Monte Azul Paulista
Cerqueira César	Guapiaçu	João Ramalho	Monte Castelo
Chavantes	Guará	José Bonifácio	Morro Agudo
Clementina	Guaraçai	Júlio Mesquita	Motuca
Colina	Guaraci	Junqueirópolis	Murutinga do Sul
Colômbia	Guarani d'Oeste	Lavínia	Nantes
Coroados	Guarantã	Lençóis Paulista	Narandiba
Cosmorama	Guararapes	Lins	Neves Paulista
Cruzália	Guariba	Lourdes	Nhandeara
Dirce Reis	Guzolândia	Lucélia	Nipoã
Dobrada	Herculândia	Lucianópolis	Nova Aliança
Dolcinópolis	Iacanga	Luiziânia	Nova Canaã Paulista
Dracena	Iacri	Lupércio	Nova Castilho

SÃO PAULO			
Nova Granada	Pereira Barreto	Ribeirão dos Índios	Sertãozinho
Nova Guataporanga	Piacatu	Rifaina	Severínia
Nova Independência	Pindorama	Rinópolis	Sud Mennucci
Nova Luzitânia	Piquerobi	Riolândia	Suzanápolis
Novais	Pirajuí	Rosana	Tabapuã
Novo Horizonte	Pirangi	Rubiácea	Tabatinga
Nuporanga	Pirapozinho	Rubineia	Taciba
Ocaçu	Piratinga	Sabino	Taiaçu
Óleo	Pitangueiras	Sagres	Taiúva
Olímpia	Planalto	Sales	Tanabi
Onda Verde	Platina	Sales Oliveira	Taquaral
Oriente	Poloni	Salmourão	Taquaritinga
Orindiúva	Pompeia	Salto Grande	Tarabai
Orlândia	Pongai	Sandovalina	Tarumã
Oscar Bressane	Pontal	Santa Adélia	Teodoro Sampaio
Osvaldo Cruz	Pontalinda	Santa Albertina	Terra Roxa
Ourinhos	Pontes Gestal	Santa Clara d'Oeste	Três Fronteiras
Ouro Verde	Populina	Santa Cruz do Rio Pardo	Tupã
Ouroeste	Potirendaba	Santa Ernestina	Tupi Paulista
Pacaembu	Pracinha	Santa Fé do Sul	Turiúba
Palestina	Pradópolis	Santa Mercedes	Turmalina
Palmares Paulista	Pratânia	Santa Rita d'Oeste	Ubarana
Palmeira d'Oeste	Presidente Alves	Santa Salete	Ubirajara
Palmital	Presidente Bernardes	Santana da Ponte Pensa	Uchoa
Panorama	Presidente Epitácio	Santo Anastácio	União Paulista
Paraguaçu Paulista	Presidente Prudente	Santo Antônio do Aracanguá	Urânia
Paraíso	Presidente Venceslau	Santo Expedito	Uru
Paranapuã	Promissão	Santópolis do Aguapeí	Urupês
Parapuã	Quatá	São Francisco	Valentim Gentil
Parisi	Queiroz	São João das Duas Pontes	Valparaíso
Pauliceia	Quintana	São João de Iracema	Vera Cruz
Paulistânia	Rancharia	São João do Pau d'Alho	Viradouro
Paulo de Faria	Regente Feijó	São Joaquim da Barra	Vista Alegre do Alto
Pederneiras	Reginópolis	São José da Bela Vista	Vitória Brasil
Pedranópolis	Restinga	São José do Rio Preto	Votuporanga
Pedrinhas Paulista	Ribeirão Corrente	São Pedro do Turvo	Zacarias
Penápolis	Ribeirão do Sul	Sebastianópolis do Sul	

SÃO PAULO			
Municípios localizados total ou parcialmente em área de afloramento			
Águas de São Pedro	Cravinhos	Mococa	Santa Maria da Serra
Altinópolis	Cristais Paulista	Nova Europa	Santa Rita do Passa Quatro
Américo Brasiliense	Descalvado	Paranapanema	Santa Rosa de Viterbo
Analândia	Dois Córregos	Pardinho	Santo Antônio da Alegria
Angatuba	Dourado	Patrocínio Paulista	São Carlos
Anhembi	Fartura	Pedregulho	São Manuel
Arandu	Franca	Pereiras	São Pedro
Araraquara	Gavião Peixoto	Piracicaba	São Simão
Araras	Guareí	Piraju	Sarutaiá
Avaré	Guataparã	Pirassununga	Serra Azul
Bariri	Ibaté	Porangaba	Serrana
Boa Esperança do Sul	Ibitinga	Porto Ferreira	Taguaí
Bocaina	Ipeúna	Quadra	Tambaú
Bofete	Itaí	Ribeirão Bonito	Taquarituba
Botucatu	Itaju	Ribeirão Preto	Tejupá
Brodowski	Itatinga	Rincão	Tietê
Brotas	Itirapina	Rio Claro	Timburi
Caçuru	Itirapuã	Rio das Pedras	Torre de Pedra
Casa Branca	Jaú	Saltinho	Torrinha
Cássia dos Coqueiros	Laranjal Paulista	Santa Cruz da Conceição	Trabiju
Charqueada	Leme	Santa Cruz da Esperança	
Conchas	Luís Antônio	Santa Cruz das Palmeiras	
Corumbataí	Mineiros do Tietê	Santa Lúcia	

Obs.: O levantamento dos municípios foi realizado com base em mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani, o que pode resultar na inclusão ou exclusão de alguns municípios da área limítrofe do aquífero, estendendo-se também para a classificação dos municípios em área de afloramentos.

