

Sistema Aquífero Guarani

O artigo dedicado aos amigos do programa da rádio Independente AM
“A Verdade Total em Tempo Real”,

José Pedro Domingues Netto,
Dr. Luiz Lotfallah Miziara e
José Parassu Camargo de Carvalho



José Pedro Domingues Netto

Luiz Lotfallah Miziara

José Parassu Camargo de Carvalho

No programa da rádio Independente AM – “A Verdade Total em Tempo Real” do dia 05 de dezembro, José Parassu fez as seguintes indagações e comentários sobre o Aquífero Guarani:

“A medição da perda de profundidade do Aquífero é feita em uma determinada época do ano? Como é que é isso? A gente como sertanejo sabe o seguinte, tem época que o poço mesmo profundo sofre uma alteração de nível”.

“Entendo que o Aquífero é formado pelas águas de chuva que ao filtrarem-se fazem as águas do depósito do Aquífero Guarani”.

“Quando você tem um ano com muita chuva há um aumento do Aquífero. E quando falta chuva, o Aquífero diminui. A mesma coisa acontece com relação às épocas do ano. Se você faz uma medição, em janeiro é uma coisa, se você faz a medição em outubro é outra”.

Assista vídeo sobre o Aquífero Guarani Ctrl + clique no link abaixo

<http://www.outorga.com.br/AQUIFERO%20GUARANI.wmv>

A seguir alguns conceitos básicos sobre a água e o Sistema Aquífero Guarani

1 - ÁGUA, ELEMENTO ESSENCIAL À VIDA

A vida não pode existir sem água líquida. Reciprocamente, nos lugares onde ela está presente, se dão as condições para o desenvolvimento dos processos vitais.

A capacidade de renovação das águas durante o ciclo hidrológico e sua agilidade de autopurificação, permite a relativa conservação, por um longo período, da quantidade e qualidade das águas doces.

Este fato dá a falsa ilusão de inalterabilidade e inexauribilidade dos recursos hídricos que são considerados como um bem gratuito do meio ambiente.

Sob estas condições, historicamente, a tradição é de descuido com o uso dos mesmos.

O abastecimento de água potável às populações, em quantidade e qualidade adequadas, é um indicador básico da sua qualidade de vida.

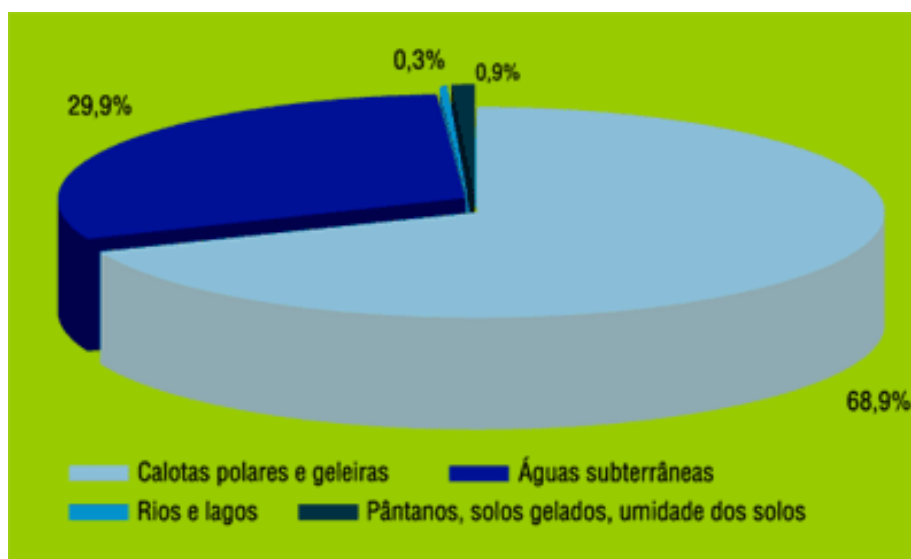
Momentos recentes na história da humanidade têm demonstrado uma preocupação global com as questões ambientais da preservação e utilização racional dos recursos hídricos.

2 - QUANTIDADE DE ÁGUA NO PLANETA

Cerca de 70% da superfície da Terra encontra-se coberta pelas águas num volume de aproximadamente 1.385.984.610 km³.

Deste total, 97,5% constitui-se de água salgada e apenas 2,5% em água doce, ou seja: 1,351 bilhões km³ e 34,6 milhões km³, respectivamente.

Do total do volume de água doce (34,6 milhões km³) do planeta, cerca de 30,2% (10,5 milhões de km³) pode ser utilizada para a vida vegetal e animal nas terras emersas, pois 69,8% encontram-se nas calotas polares, geleiras e solos gelados.



DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS ÁGUAS DOCES NO PLANETA

FONTE: Adaptado de SRH (2000) por Boscardin Borghetti et al. (2004).

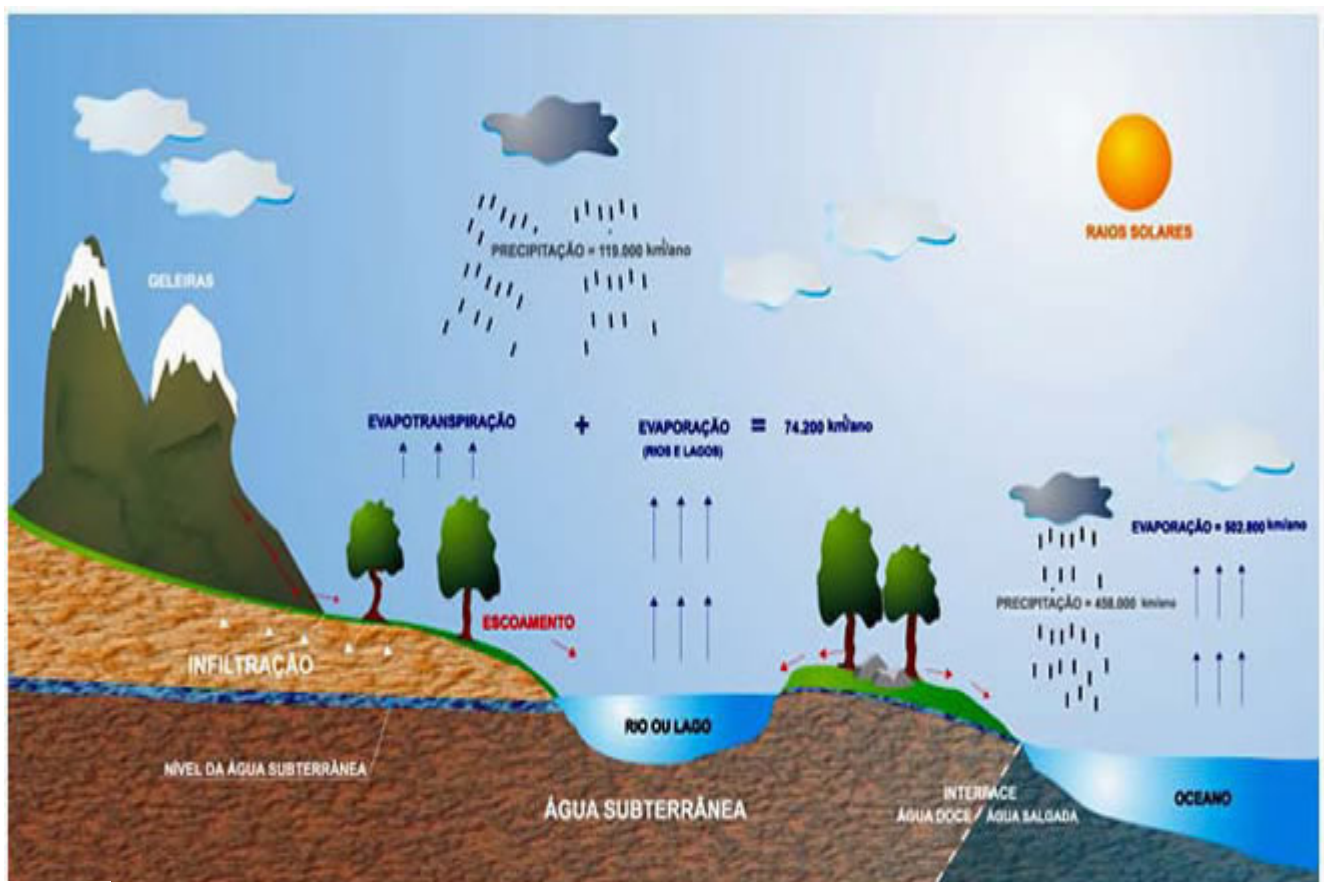
Dos 10,5 milhões de km³ de água doce, cerca de 98,7% (10,34 milhões de km³), corresponde à parcela de água subterrânea, e apenas 92,2 mil km³ (0,9%) corresponde ao volume de água doce superficial (rios e lagos), diretamente disponível para as demandas humanas, que corresponde a 0,008% do total de água no mundo.

3 - CICLO HIDROLÓGICO

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 sobre os oceanos e continentes (alimentando rios, lagos, aquíferos, glaciários)

Anualmente o ciclo hidrológico envolve um volume total de água de 577.000 km³, sendo que o volume envolvido na evaporação é igual ao envolvido na precipitação (IHP/UNESCO, 1998).

Em termos gerais, esse volume de água que intervém no ciclo hidrológico é praticamente constante; sem dúvida, espacialmente está modificando-se a nível continental, regional e local toda vez que a hidrologia de uma região está condicionada, entre outros, por fatores climáticos, topográficos, geológicos, de vegetação e da atividade humana (poluição e degradação).



CICLO HIDROLÓGICO FONTE: BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004)

4 - POTENCIAL E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO MUNDO

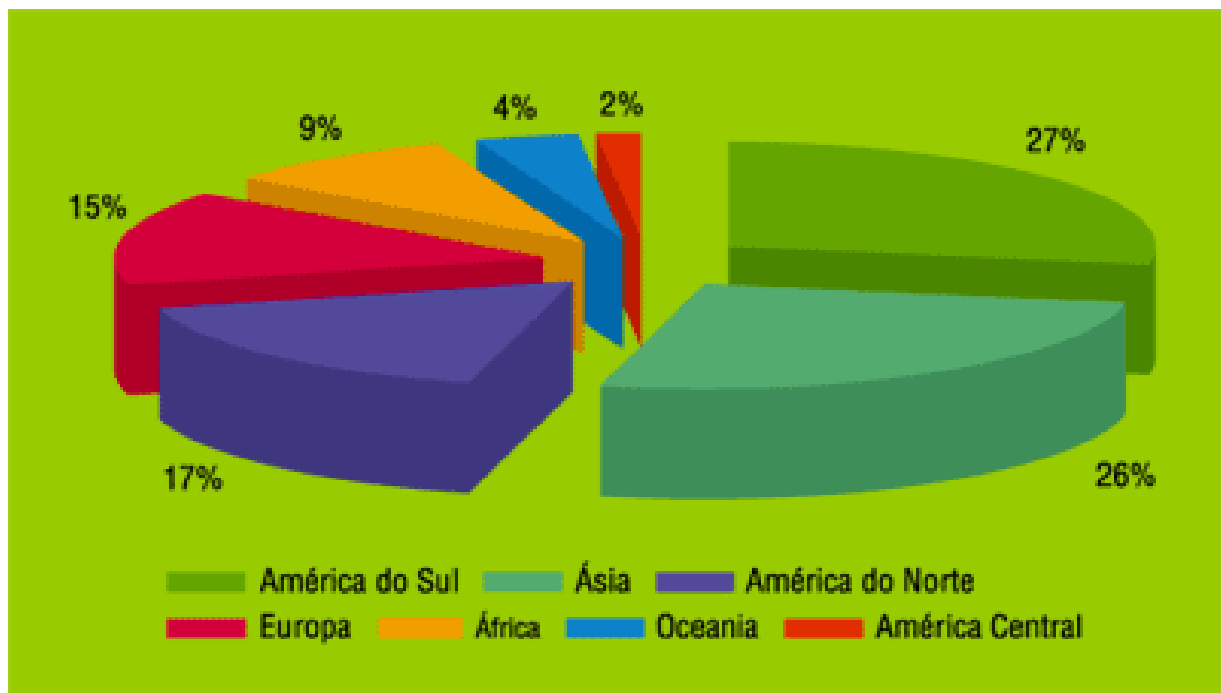
A América do Sul com 12.379 km³/ano.

Ásia com 11.727 km³/ano concentram os maiores potenciais de recursos hídricos do mundo, seguidas pela

América do Norte com 7.480 km³/ano e a

Europa com 6.631 km³/ano (FAO, 2002a).

Os menores potenciais encontram-se na África, Oceania e América Central (3.950, 1.711 e 781 km³/ano, respectivamente).



- DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS RENOVÁVEIS NO PLANETA - 2000

FONTE: Elaborado por Boscardin Borghetti et al. (2004) a partir de FAO (2002a).

Contudo, os maiores volumes de recursos hídricos renováveis do mundo estão concentrados em seis países do mundo: Brasil, Rússia, USA, Canadá, China e Indonésia (SHIKLOMANOV, 1999).

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.

Aqüífero Guarani

A VERDADEIRA INTEGRAÇÃO DOS PAÍSES DO MERCOSUL

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

Aqüífero Guarani

ao Sr. Rocha
prezamos nos unir cada
vez mais na luta para a
preservação ambiental.

Nadia Rita
Boscardin
Borghetti

Oba, 18/ agosto / 2005

Apresentação (pg 15-17)

O livro Aquífero Guarani: A verdadeira integração dos países do Mercosul, escrito por Nadia Rita Boscardin Borghetti, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho, nasce como uma fonte obrigatória de consulta e informação, além de contribuir para o trabalho que está sendo realizado pela Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, no âmbito do Projeto Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani, com recursos do Fundo Mundial para o Meio Ambiente (GEF) e tendo como organismo implementador o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) e como organismo executor a Organização dos Estados Americanos (OEA).

Este 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 desse aquífero, nos mais diversos setores econômicos e sociais.

O 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.

Este aquífero transfronteiriço possui uma área de 1,2 milhões de km² e um volume estimado de 46 mil quilômetros cúbicos de água, superior a toda a água contida nos rios e lagos do planeta, e concentra atualmente uma população aproximada de 29,9 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, 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.

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.

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 agora 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 à mesma.

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 2,8 e 7 bilhões da população mundial, respectivamente, em 60 países, 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.

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 o meio ambiente.

José Roberto Marinho

Presidente da Fundação Roberto Marinho

Aquífero Guarani A Verdadeira Integração dos Países do Mercosul (pgs 105 - 110 e 143 - 149)

Autores: Nadia Rita Boscardin Borghetti, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho - http://www.oaquiferoguarani.com.br/index_02.htm



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

José Roberto Borghetti

Graduação em Biologia pela PUC-PR, especialização em Tecnologia de Nutrição de Peixes pela University of Washington e mestrado em Ecologia Aquática pela University of Washington., é membro do Comitê Científico do CNPq, consultor da Academia Brasileira de Ciências.

Ernani Francisco da Rosa Filho

Presidente da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS - Biênio 2001/2002
Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Paraná (1976), Mestrado em Hidrogeologia pela Universidade Federal de Pernambuco (1982), Especialização em Traçadores Artificiais em Águas Subterrâneas pela Technische Hochschule Universitaet Graz-Áustria (1985), Doutorado (Doktor Naturwissenschaften - Dr. rer. nat.) em Hydrogeologie pela Bayerische Julius-Maximilians-Universitaet Wuerzburg, Alemanha (1991) e Livre Docência pela Universidade de São Paulo (2004). Foi Professor-Visitante na Universidad de Alcalá de Henares-Espanha (1999), na Universidad de Piza-Itália (2001, 2002 e 2009) e na Universidad Nacional de Asunción-Paraguai (2007 e 2008). É Professor-Associado II da Universidade Federal do Paraná (UFPR), onde leciona nos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Geologia e atua como orientador de Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado na área de Recursos Hídricos (águas subterrâneas).

Nádía Rita Boscardin Borghetti

Graduação em Biologia

Nádía Borghetti diz que para conter a exploração do Aquífero sem critérios são necessárias ações concretas na elaboração de legislação e normas específicas de utilização dos recursos do aquífero. Sugere a implantação de um sistema integrado de responsabilidade socioambiental e, principalmente, investimentos em pesquisas técnico-científicas.

Aquíferos

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 depositório e de transmissor da água aí armazenada.

Assim, uma **litologia** (descrição das rochas, com base em características tais como a cor, composição mineralógica e tamanho de grão – dic. Houaiss) 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*).

Os aquíferos mais importantes do mundo, seja por extensão ou pela transnacionalidade, são:

(**Aquífero** - que emana água subterrânea para poços e mananciais - diz-se de formação geológica ou solo poroso)

- **Guarani** - Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai (1,2 milhões de km²);
- **Arenito Núbia** - Líbia, Egito, Chade, Sudão (2 milhões de km²);
- **Kalahari/Karoo -Namíbia, Bostwana, África do Sul** (135 mil km²);
- **Digitalwaterway vechte** - Alemanha, Holanda (7,5 mil km²);
- **Slovak-Karst-Aggtelek** -República Eslováquia e Hungria);
- **Praded** - República Checa e Polônia (3,3 mil km²) (*UNESCO, 2001*);
- **Grande Bacia Artesiana** (1,7 milhões km²) e a
- **Bacia Murray** (297 mil km²), ambos na Austrália.

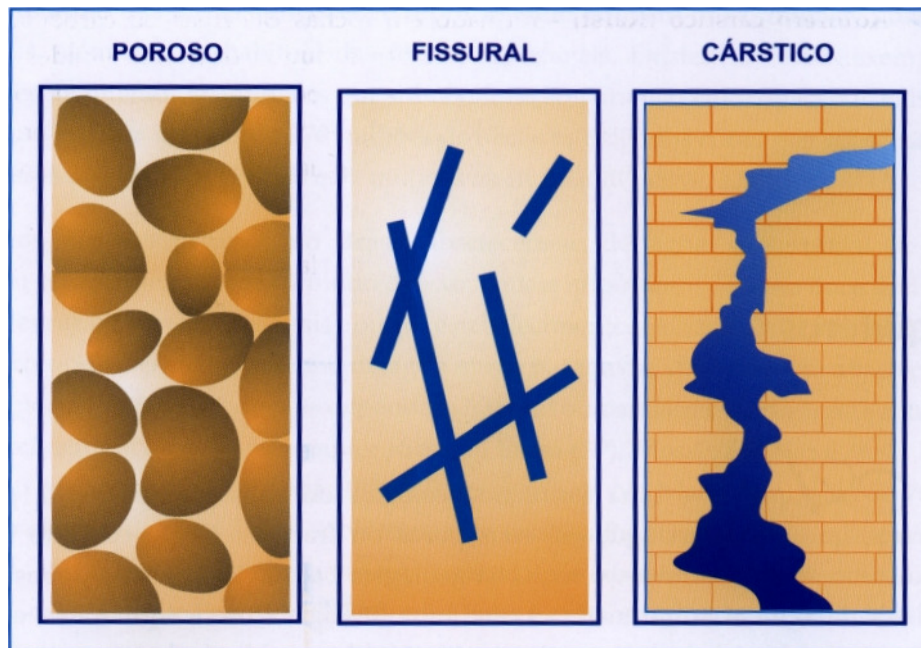
Em um recente levantamento, a UNECE da Europa constatou que existem mais de 100 aquíferos transnacionais naquele continente (*ALMASSY e BUZAS,1999 citado em UNESCO, 2001*).

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 aquíferos:



1) 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 existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia.

2) Aquífero fraturado ou fissural

Formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, 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 houverem 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.

3) Aquífero cárstico (Karst)

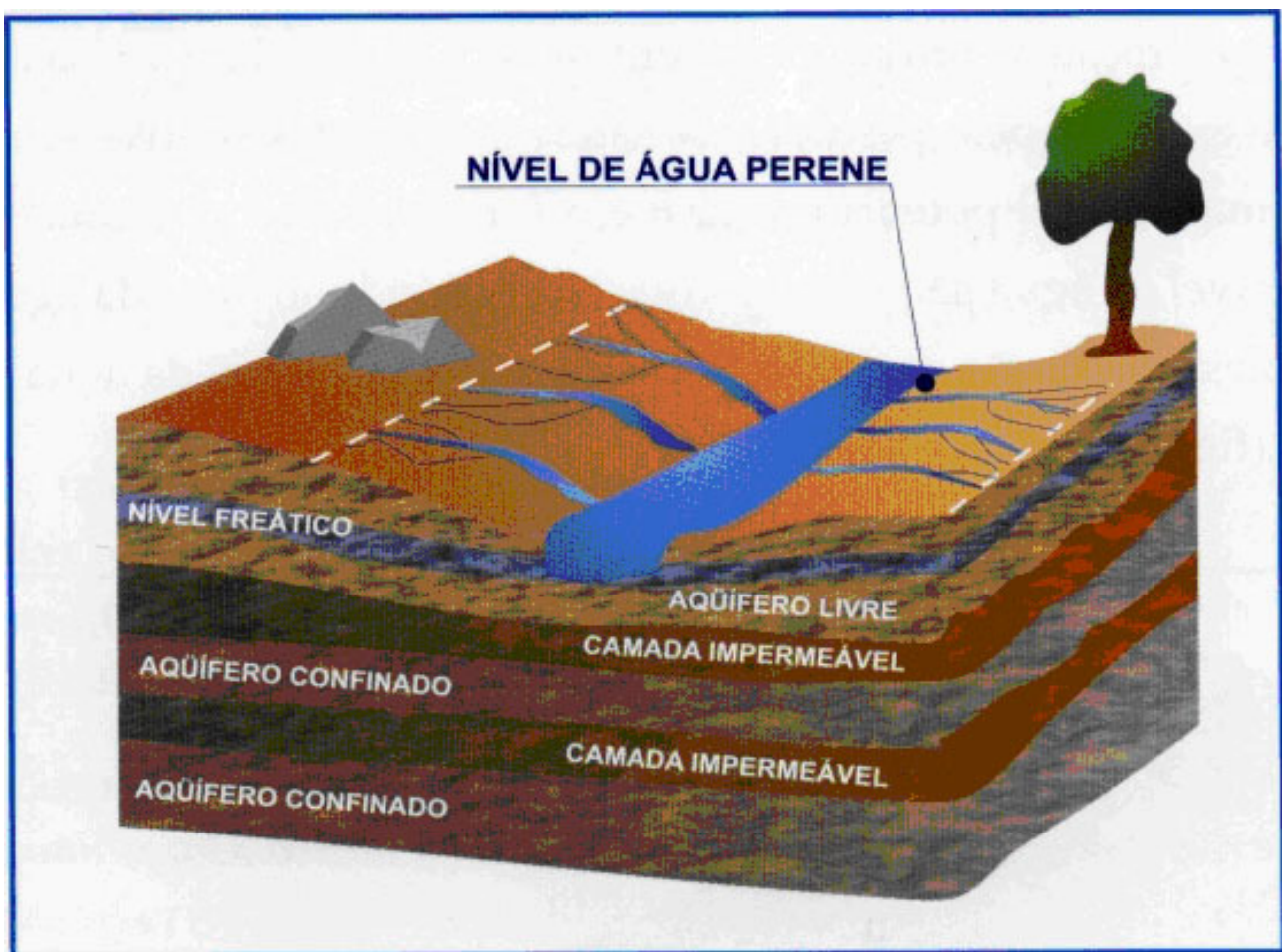
Formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água.

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 superfície superior (segundo a pressão da água)

Os aquíferos podem ser de dois tipos:



1) 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.

2) 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 ascenda 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. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (**bacias sedimentares**).

O aquífero semi-confinado

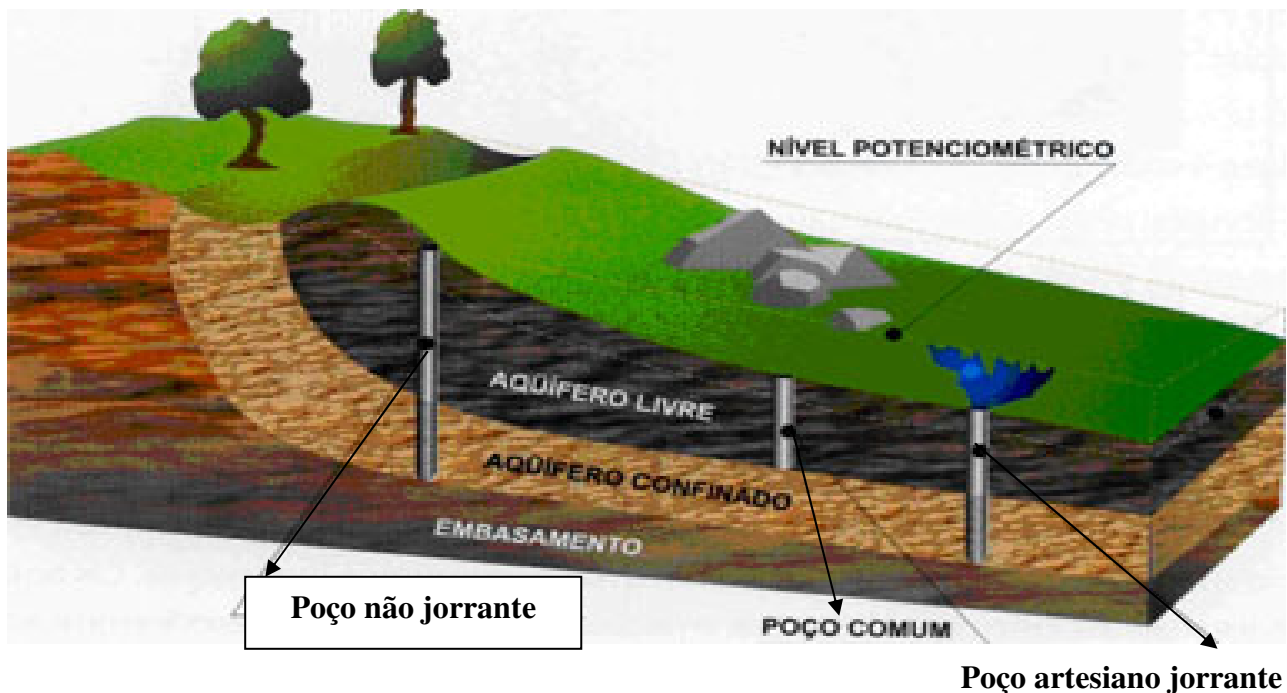
É aquele que se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si.

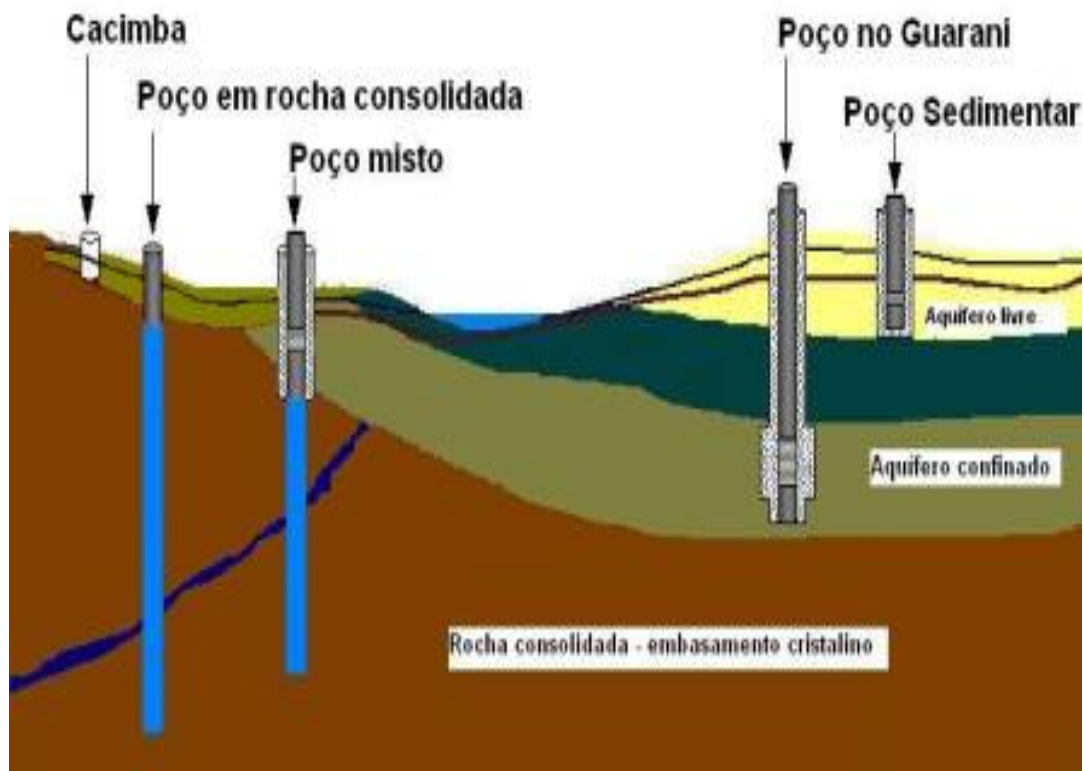
O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semi-confinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes.

Em certas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semi-confinadas 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 de um aquífero confinado, a água subirá acima do teto do aquífero, devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. **A altura a que a água sobe chama-se nível potenciométrico e o furo é artesiano.**

Numa perfuração de um aquífero livre, o nível da água não varia porque corresponde ao nível da água no aquífero, isto é, a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. **O nível da água é designado então de nível freático.**





Tipos de poços para captação de água subterrânea

- **Cacimba, poço raso, cisterna ou poço amazonas.** Construídos manualmente. Não carece de licenciamento ou autorização governamental dos órgãos gestores.
- **Poço perfurado em rochas consolidadas ou cristalinas.** Também conhecido como semi – artesiano.
- **Poço perfurado em rochas inconsolidadas e consolidadas.** Pode ser chamado de Poço Misto e também semi – artesiano.
- **Poço no Aquífero Guarani.** Poço perfurado em rochas consolidadas e inconsolidadas, com grandes diâmetros (até 36”) e profundidades (até 1.500 metros). Também chamado de artesiano, jorrante ou não.
- **Poço Sedimentar, perfurado em rochas geralmente inconsolidadas.** Pode ser chamado também de semi – artesiano.

POÇO TUBULAR PROFUNDO

Obra de engenharia geológica de acesso a água subterrânea, executada com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro de 4” a 36” e profundidade de até 2000 metros, para captação de água.

POÇO RASO, CISTERNA, CACIMBA OU AMAZONAS

Poços de grandes diâmetros (1 metro ou mais), escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concreto. Captam o lençol freático e possuem geralmente profundidades de até 40 metros.

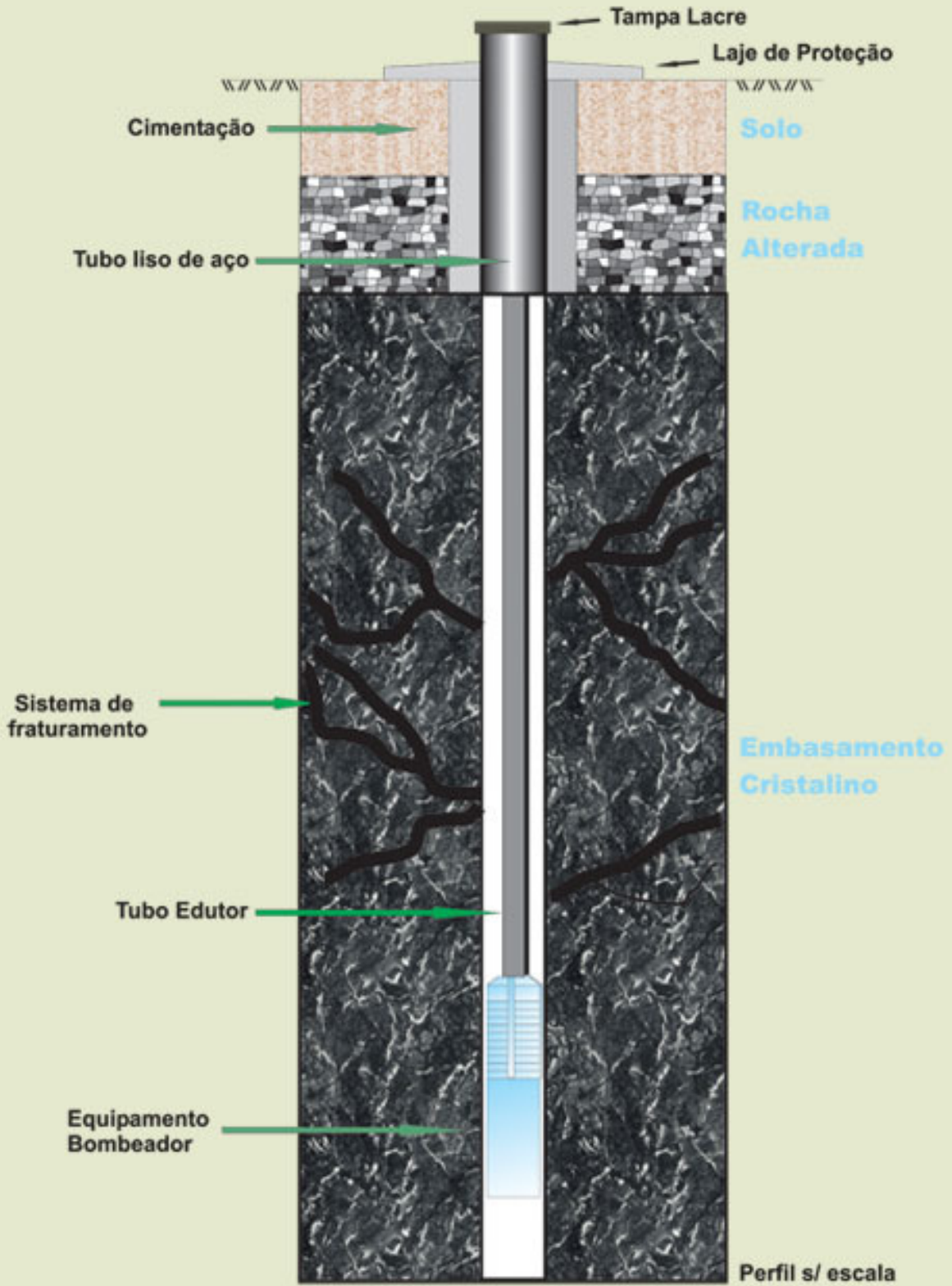


Poço comum ou cacimba



Poço tubular profundo

**Perfil Construtivo
Poços Tubulares Profundos
Rochas Cristalinas**



Poço tubular profundo – Rochas Cristalinas

Caracterização Geológica

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.

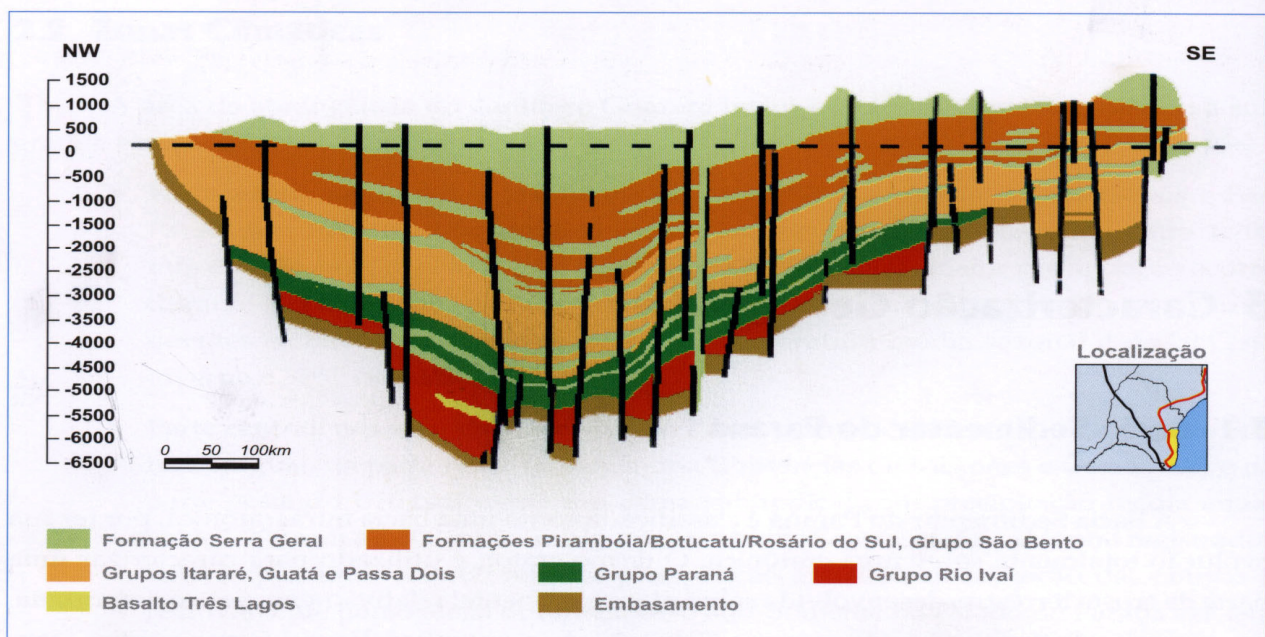
Possui forma elíptica, com o eixo maior de direção nordeste-sudoeste (NE-SW), coincidindo, aproximadamente, com o curso atual do Rio Paraná. Segundo Milani e Thomaz Filho (2000) citado em OEA (2001), as seqüências cratônicas do Fanerozóico formaram-se desde o início do Ordoviciano até o Cretáceo, ocupando mais de 3,5 milhões de km², distribuídos em **5 grandes bacias sedimentares (províncias hidrogeológicas)**:

1. Solimões,
2. Amazonas,
3. Parnaíba e
4. Paraná no Brasil, e
5. Chaco-Paraná na Argentina, Paraguai e Uruguai.

Segundo Soares et al. (1978) citado 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 seqüências deposicionais, separadas por discordâncias regionais que refletem épocas de soerguimento e erosão.

Durante o Mesozóico, a deposição de duas seqüências, uma sedimentar continental e a outra vulcânica, foram influenciadas 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 Sedimentar 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 Paleozóico e Mesozóico, com contribuições localizadas de rochas carbonáticas durante o Permiano, conforme figura abaixo (OEA, 2001).



SEÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL DA BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ

FONTE: Adaptado de MILANI e ZALAN (1998) citado em OEA (2001)

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 plano inferior) 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 Pirambóia 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).

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

Sob o ponto de vista hidráulico, os sedimentos do Jurássico, de origem eólica, configuram-se como bons aquíferos, enquanto os sedimentos subjacentes do Triássico, com origem flúviolacustre/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.

- ASPECTOS LITOESTRATIGRÁFICOS DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA E BOTUCATU

ITENS	FORMAÇÕES	
	Pirambóia	Botucatu
Era/Época	Mesozóica - Triássico (245-208 milhões de anos)	Mesozóica - 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 à muito fina 0,12 mm	Fina à 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) citado em (OEA, 2001)

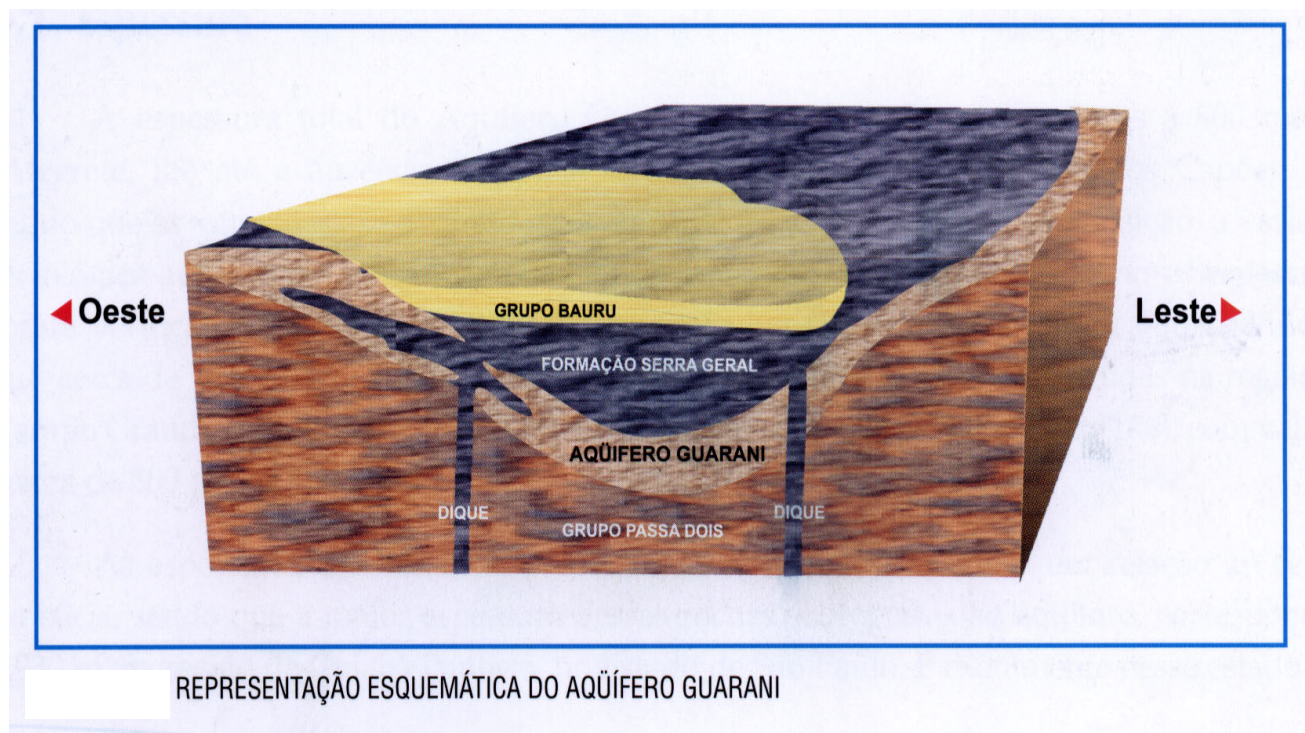
O pacote de camadas que constitui o Aquífero Guarani tem sua arquitetura arqueada para baixo, onde as camadas mergulham a partir das regiões de afloramento em direção à calha (ARAÚJO et al., 1995).

O Aquífero Serra Geral (Jurássico Superior e Cretáceo Inferior), predominantemente do tipo fissural, tem uma área de 1,5 milhões de km² e constitui-se na capa protetora do Guarani (figura abaixo), sendo composta por rochas ígneas vulcânicas, representadas por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, ocorrendo quantidades subordinadas de riolitos e riolacitos (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 *et al.*, 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 o Aquífero Serra Geral (OEA, 2001).



A utilização de interpretações hidroquímicas, associadas com feições tectônicas, indicam 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 (a idade das 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.

Características Gerais do Aquífero Guarani

Guarani é um aquífero 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.

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 seqüência de rochas sedimentares paleozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Essas rochas são representadas pela seqüência alternada de siltitos e arenitos finos permo-triássicos, de baixa permeabilidade, denominada de

- Formação Rio do Rasto no Brasil,
- Formação Victorino Rodrigues na Argentina,
- Formação Yaguary no Paraguai e
- Sem denominação no Uruguai (*REBOUÇAS et al., 2002a*).

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

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 (cerca de 70 a 100 m).

As maiores espessuras do aquífero foram verificadas na região de Campo Grande (MS), com valores superiores a 600 m e na região de Alegrete (RS), com valores acima de 800 m (ARAÚJO et al., 1995).

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 Paraná, entre os rios Paranapanema e Ivaí, a soma das espessuras dos sedimentos do Grupo Caiuá e dos derrames basálticos da Formação Serra Geral atingem até 1.440 m (OEA, 2001).

Áreas de Reabastecimento e Descarga do Aquífero

Um aquífero apresenta uma reserva permanente de água e uma reserva ativa ou reguladora que são continuamente abastecidas através da infiltração da chuva e de outras fontes subterrâneas.

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).

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 Guarani em território brasileiro encontram-se nos Estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná 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.
- **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 descontinuidades 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).

Direção de Fluxo da Água

A partir da área de recarga nos Estados de Goiás e norte 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 Guarani (ROSA FILHO et al., 1998).

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.

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 (PR), 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 é inferior à altitude do terreno, esse manancial pode ser extraído por bombeamento (ROSA FILHO *et al.*, 1998).

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, SP (GUALDI, 1999).

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 km^3/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 m^3/h surgentes (quadro abaixo), mas que apresenta particularidades quanto ao balanço hídrico e comportamento hidráulico.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO AQUÍFERO GUARANI

PARÂMETROS	VALOR MÉDIO
Coeficiente de permeabilidade	3m/dia
Coeficiente 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 0,50 a 0,75 cm/dia

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

As maiores taxas de recarga ocorrem nas regiões planas, bem arborizadas, e nos aquíferos livres. Nas regiões de relevo acidentado, sem cobertura vegetal, sujeitas as 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.

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 freático aflora à superfície em ritmo constante. Onde há muita exaustão de água subterrânea, o resultado é, frequentemente, leitos secos de rios e pântanos ressecados.

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 reúso de efluentes domésticos e/ ou industriais.
- **Função de filtro:** corresponde à utilização da capacidade filtrante e de depuração bio-geoquímica 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 geohidrologia 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).

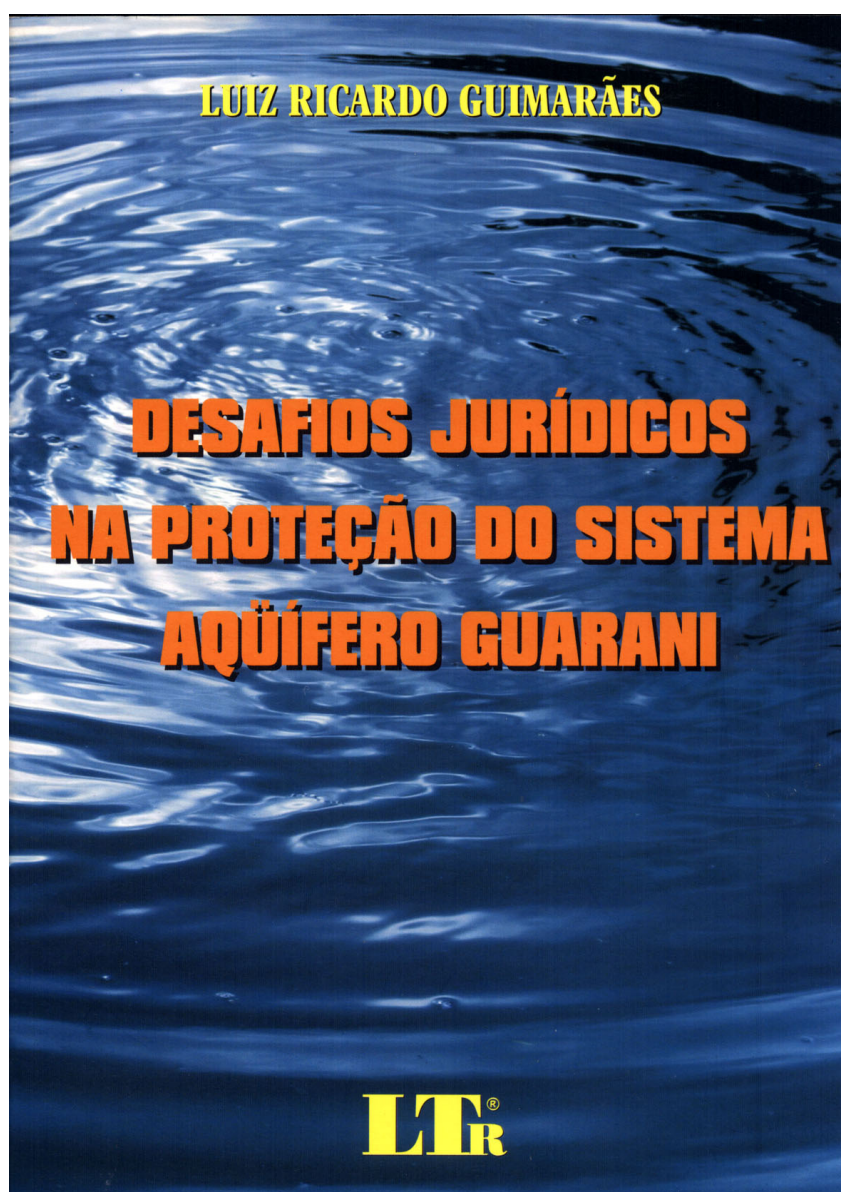
Luiz Ricardo Guimarães autor do livro

DESAFIOS JURÍDICOS NA PROTEÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI,

destaca as complexas relações entre os recursos hídricos, as necessidades humanas, as relações sociais e os interesses econômicos.

O **Sistema Aquífero Guarani**, por ser uma imensa reserva de água subterrânea transnacional, é um magnífico exemplo para o desenvolvimento desse tema e uma forma de se entender as dificuldades do Direito atual em acompanhar as mudanças nas relações humanas, tanto no panorama nacional.

Assim, é racionalmente necessário entender o **Sistema Aquífero Guarani**, sua importância em uma perspectiva mundial de escassez e aumento de consumo de água e a necessidade de um sistema eficaz de proteção nacional e internacional de suas reservas aquíferas.



Sendo a quantidade de água no planeta a mesma há milhares de anos o que a tem tornado escassa é o modo de vida da sociedade atual.

A crescente necessidade de água para o sistema produtivo e para manter a qualidade de vida (ou somente a vida) fez com que se voltassem os olhos para as reservas hídricas. Em várias partes do globo, será crescente a tendência atual de limitação ao acesso à água.

Diante desses fatos, é inegável que o Sistema Aquífero Guarani é uma reserva estratégica para as próximas décadas e deve ser preservado de maneira que não tenha suas águas contaminadas, muito menos esgotadas, respeitando o princípio do desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento de estudos científicos conclusivos sobre sua dimensão, interconexão, transnacionalidade, quantidade e qualidade de suas águas torna-se indispensável para se ter uma gestão que atenda aos anseios ambientais e para que se desenvolva uma legislação específica.

Pelos estudos mais recentes, já se pode ter algumas certezas como:

- Nem toda a sua água é de excelente qualidade, havendo vários pontos em que há alta concentração de sais, tornando-a imprópria para consumo.
- Em algumas regiões, o Aquífero é compartimentado, não havendo interconexão e que nem toda sua reserva de água é recarregável, podendo haver pontos de esgotamento.
- O Sistema Aquífero Guarani não é totalmente transfronteiriço, mas sim que contém partes que ultrapassam os limites dos países.

Entretanto, essas novas informações não reduzem sua importância. Ele possui, mesmo assim, grande quantidade de água de excelente qualidade e, ainda, água em temperatura ideal para diversas atividades econômicas.

Portanto, ele é de suma importância para o abastecimento público, para os setores agro industriais, turísticos e envasamento de água mineral.

Esses setores econômicos têm crescido muito nas últimas décadas, principalmente devido ao aumento do mercado consumidor. Muitas cidades dependem de suas águas para o abastecimento público.

As suas áreas de afloramento, que tornam as terras férteis, serão cada vez mais procuradas e valorizadas, além de poder usar a irrigação em outras áreas e, ainda, as águas termais.

Vários ramos industriais também necessitam de grande quantidade de água em seu processo produtivo normal ou em altas temperaturas. O mercado de água mineral é cada vez mais requisitado pela visão da sociedade de ter uma qualidade de vida melhor, além do uso turístico.

Importante atentar-se quando de sua exploração para as formas de contaminação do sistema, para evitar que se percam grandes quantidades de água,.

Sua despoluição é uma das tarefas mais árduas e caras. O avanço no saneamento básico auxiliará na diminuição das possibilidades de poluição aquífera.

Todos esses fatores devem ser levados em conta no desenvolvimento da gestão e das legislações para a proteção do Sistema Aquífero Guarani.

Enquanto não forem realizados estudos técnicos conclusivos, deve-se utilizar o princípio da precaução para evitar danos irremediáveis.

A Constituição Brasileira tem uma preocupação especial com o meio ambiente e dá destaque aos recursos hídricos. Tendo adotado o que há de mais moderno dentro do campo ambiental, suas normas são claras para evitar a degradação do Guarani.

Baseadas nela, a legislação federal e estadual têm condições de proteger o Aquífero de uma exploração **econômica desenfreada**, por meio de instrumentos de gestão e com severas responsabilidades tanto na **esfera administrativa, como civil e criminal, dando sempre preferência ao consumo humano.**

A participação dos municípios, protegendo o solo que pertence a eles e que protegem o Aquífero é uma condição racionalmente necessária.

As **Resoluções CNRH nº 15/01 e 22/02** são normas que comprovam a necessidade de, em relação às águas subterrâneas que ultrapassem o território de um Estado, haver uma gestão compartilhada e a troca de informações entre os entes federados e a realização de acordos internacionais.

Com o mapeamento e detalhamento de seu sistema, poderiam ser criadas condições específicas para sua gestão, com normas próprias, visando a mantê-lo como fonte sustentável do recurso ambiental água e criando mecanismos para sua proteção atendendo às suas características únicas.

Em matéria de legislação nacional, o sistema brasileiro seria suficiente para sua exploração sustentável. O problema ocorre quando a lei é necessária no caso concreto (na aplicação prática), com a falta de pessoal especializado (reduzido número de técnicos, fiscais, policiais e profissionais do Direito na área ambiental), abrandamento de multas e penas, **corrupção crescente, o que gera uma sensação de impunidade ao poluidor, à população e àqueles que aplicam a lei.**

A participação da sociedade é de fundamental importância para a preservação do Guarani e sua pressão política indispensável. Fazer com que a sociedade saia da inércia é tarefa das mais difíceis.

As formas de gestão e monitoramento, não podem servir para que determinados grupos econômicos tenham vantagens em sua exploração hídrica.

O Mercosul tem seus problemas institucionais e isso reflete, também, na área ambiental. As idéias, como o desenvolvimento de uma legislação ambiental harmônica entre os países que fazem parte do bloco, já foram confirmadas por meio de acordos, faltando sua concretização.

Cabe, agora, esperar e verificar se vai ser aplicado o que está previsto em conferências e acordos internacionais e na legislação nacional, realizando uma gestão sustentável do Guarani e impondo-se as penas previstas aos poluidores, fazendo com que todos cumpram as normas, ou se o poder econômico soará mais alto, indicando um caminho de privilégios em detrimento da população de quatro países.



“Precisamos controlar e aprender a bem utilizar nossos recursos hídricos”

Luiz Antonio Batista da Rocha - Eng. Civil
Consultor em Recursos Hídricos – Auditor Ambiental
rocha@outorga.com.br – www.outorga.com.br