

## Reportagem

edição 47 - Abril 2006

### A redescoberta do Aquífero Guarani

O megareservatório hídrico subterrâneo da América do Sul não é o "mar de água doce" que se pensava existir. Novos estudos sobre sua diversidade geológica revelam que, em espaços de algumas centenas de quilômetros, sua potencialidade pode variar drasticamente. Enquanto algumas áreas são excelentes, em outras a água é inacessível, escassa ou não-potável

*por José Luiz Flores Machado*

Maio de 1996. Em um workshop em Curitiba, o geólogo uruguaio Danilo Anton propôs o nome Guarani a uma camada aquífera que, imaginava-se, seria transfronteiriça entre os quatro países que então formavam o bloco econômico do Mercosul. Este aquífero chegou a ser considerado e divulgado na imprensa como o maior do mundo e seria constituído de um megareservatório de água subterrânea doce e potável. Suas reservas estratégicas poderiam abastecer a população brasileira por cerca de 2.500 anos. De fato, diante desse cenário seria possível excluir de nossas preocupações uma futura crise da água, pois a Natureza nos teria apresentado com uma fonte de água subterrânea de boa qualidade e quase inesgotável.

Mas esses dados, em grande proporção fantasiosos, têm sido revistos por pesquisas com rigor científico que, em vez de diminuir sua importância para o futuro do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, procuram avaliar de forma mais realista sua ocorrência. A divulgação da existência de um grande aquífero, entretanto, foi extremamente importante, pois, além de colocar em discussão o papel das águas subterrâneas no abastecimento futuro desses países, atraiu também o interesse do público leigo pelo tema.

Ainda não existem estudos detalhados sobre toda a área de ocorrência do Aquífero Guarani no Brasil e nos outros países do Mercosul. Entretanto, teria sido melhor denominá-lo "Sistema Aquífero Guarani", já que se trata de um conjunto heterogêneo de "unidades hidroestratigráficas" que podem conter muita, pouca ou nenhuma água. Sinteticamente, essas unidades poderiam ser descritas como formações geológicas portadoras de água, em maior ou menor quantidade. Algumas delas, exploradas há mais de cem anos, já foram estudadas por pesquisadores dos países do Mercosul.

No Brasil, oito estados abrigam partes do Aquífero Guarani. Estudos realizados em quase todos indicaram grande descontinuidade na estruturação geológica. Isso ocorre, por

exemplo, no Arco de Ponta Grossa (Paraná), onde as estruturas geo-lógicas e as intrusões vulcânicas dividem o sistema aquífero em diversos fluxos independentes e limitados ao Brasil.

O estado de São Paulo apresenta excelente conformação estrutural, o que facilita a recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas. (A recarga ocorre principalmente pela penetração das águas de chuva, e a descarga é a saída da água do subsolo, em direção aos rios ou outras estruturas geológicas, após lenta circulação no aquífero.) O fluxo das águas, entretanto, não é transfronteiriço, restringindo-se aos limites paulistas. No Brasil, São Paulo está entre os estados mais privilegiados, pois é onde a potencialidade do Aquífero Guarani mais se aproxima da noção divulgada pela imprensa.

Milton Rodrigues/Gerson Martins



No Mato Grosso do Sul as medidas de pressão das águas do aquífero indicam fluxos das águas principalmente em direção ao rio Paraná. Com relação à qualidade das águas, em Santa Catarina e Paraná extensas áreas do aquífero têm águas com alta salinidade (salobras), não potáveis. Em São Paulo e Mato Grosso do Sul, elas tornam-se mais salinas nas proximidades do rio Paraná, embora as condições geológicas e de fluxos da região sejam favoráveis a uma boa qualidade das águas. Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais carecem de estudos mais aprofundados. Como as camadas aquíferas estão próximas das áreas de recarga, as águas tendem a ter boa qualidade nesses três estados.

No Uruguai, a hidroestratigrafia do aquífero é complexa e muito semelhante à que ocorre na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. Sua conformação estrutural é favorável ao fluxo das águas, entretanto, os valores de salinidade aumentam próximo ao rio Uruguai, assim como a temperatura das águas.

Na Argentina predominam as águas termais e o sistema aquífero é totalmente confinado em grandes profundidades. Na Província de Entre Rios, por exemplo, é possível observar-se um incremento exagerado na salinidade do aquífero logo a partir do rio Uruguai, quando poços termais que tinham águas com aproximadamente 1.000 mg/l de sais passam a apresentar águas com mais de 100.000 mg/l de sais, quase três vezes o valor encontrado na água do mar.

O Paraguai, apesar da extensa área aflorante, mostra também grande heterogeneidade hidrogeológica e águas de boa qualidade. Entretanto, apresenta em sua porção confinada pelas rochas basálticas, nas proximidades do rio Paraná, uma extensa faixa de águas salobras e termais.

### **Aquíferos Diversificados**

Muitos trabalhos de detalhe ainda devem ser feitos para permitir uma definição da real potencialidade do Aquífero Guarani. Um trabalho no Rio Grande do Sul aponta para uma direção contrária das interpretações atualmente consideradas verdadeiras. Nele a abordagem do tema foi direcionada para uma definição: afinal de contas, o que é o Aquífero Guarani? Tal pergunta só pode ser respondida se forem levadas em conta suas características hidroestratigráficas e suas condições estruturais. A abordagem exclusiva do ponto de vista hidrogeológico é mais factível quando trata de uma camada aquífera bem delimitada e conhecida, o que não é o caso do Aquífero Guarani, pelo menos naquele estado. Esse aquífero é bastante diversificado quanto a seu modo de ocorrência, pois um hidrogeólogo que tivesse sua experiência centrada no estado de São Paulo teria percepção muito diferente da realidade observada por outro que se ocupasse do abastecimento público ou mesmo agrícola e industrial, no Rio Grande do Sul.

O Aquífero Guarani situa-se dentro das bacias geológicas do Paraná e Chaco-Paranaense e nelas ocupa um espaço de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>. A evolução estrutural dessa grande área pressupõe que esforços tectônicos intensos propiciaram a ocorrência de extensas zonas de fraqueza. O embasamento das bacias geológicas onde se encontram as camadas aquíferas data da criação do supercontinente de Gondwana. Sua evolução durante a era Paleozóica (entre 545 milhões e 248 milhões de anos atrás) indica que três seqüências foram

depositadas e influenciadas por zonas de fraqueza de direções dominantes nordeste e noroeste, frequentemente reativadas.

Durante a era Mesozóica (a época dos grandes dinossauros, entre 248 milhões e 65 milhões de anos atrás) foram depositadas duas seqüências: uma sedimentar e outra vulcânica. A partir delas originaram-se o Aquífero Guarani e a unidade hidroestratigráfica confinante, constituída de rochas basálticas e denominada de Serra Geral. As duas seqüências foram influenciadas pela abertura do oceano Atlântico, originando-se nessa época um terceiro elemento estrutural de direção leste-oeste. As primeiras interpretações em mapas abrangendo grandes áreas do Aquífero Guarani não levaram em consideração sua complexidade estrutural. Isso ocorre por causa do efeito da escala (é mais difícil desenhar um panorama detalhado de uma área grande), e não do desconhecimento pelos estudiosos da influência dessas estruturas nas camadas aquíferas. Como conseqüência, todas as variáveis analisadas desconsideraram o efeito das descontinuidades estruturais no arcabouço das camadas aquíferas, e geraram uma expectativa de homogeneidade impossível de ocorrer. Esse efeito é sugerido quando visualizamos a figura que mostra sua localização no países do Mercosul (ver mapa à direita). Essa figura em pequena escala possui apenas valor demonstrativo, dando-nos idéia das dimensões do aquífero.

### **O Aquífero no Rio Grande**

Na porção gaúcha do Sistema Aquífero Guarani é possível constatar que ele é intensamente influenciado por importantes e extensos sistemas de falhas geológicas. O estudo, sem ultrapassar as divisas do estado, reconhece que pelo menos três grandes sistemas, entre as inúmeras estruturas que afetam o Aquífero Guarani, são fundamentais para a compreensão de seu funcionamento hidroestratigráfico, hidráulico e hidroquímico.

As principais estruturas responsáveis pela compartimentação do Aquífero Guarani compõem-se de três grandes sistemas de falhas regionais: Dorsal de Canguçu, Jaguari-Mata e Terra de Areia-Posadas. A partir da localização desses três sistemas de falhas, o aquífero foi compartimentado em quatro blocos de maior importância, denominados de: Oeste, Central-Missões, Norte-Alto Uruguai e Leste, de acordo com seu posicionamento geográfico. Cada compartimento estrutural tem características muito particulares quanto às condições geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas. Essa situação proporciona potencialidades muito diferentes nas camadas aquíferas.

A noção e a comprovação da existência desses blocos, com características diferenciadas na estruturação tectônica e na composição das rochas, mostram de maneira inequívoca que o Aquífero Guarani é um sistema totalmente descontínuo, conflitante com a denominação "mar de água doce", sugerida, como dissemos anteriormente, pela extensão regional das rochas que compõem suas camadas aquíferas.

### **Constituição Complexa**

Estabelecida e delimitada a ocorrência de quatro grandes compartimentos em nível regional, a próxima meta a ser alcançada é determinar o reflexo que essa compartimentação teve no arcabouço hidroestratigráfico do aquífero, ou seja, em que nível essa

compartimentação afetou a distribuição das camadas aquíferas. Originalmente o Aquífero Guarani foi definido como um conjunto aquífero de idade Mesozóica, integrado por rochas sedimentares dos períodos Triássico ao Jurássico (de 248 milhões a 142 milhões de anos atrás). Corresponderia às formações geológicas batizadas como Botucatu, Pirambóia e Rosário do Sul. (Nomes de formações geológicas podem se referir, por exemplo, às cidades ou regiões onde as formações foram inicialmente descritas, mas isso não significa que existam apenas lá.) No Rio Grande do Sul, devido à ocorrência dessas compartimentações, a evolução geológica do Aquífero Guarani mostrou maior complexidade quando comparado ao restante do Brasil. Em alguns aspectos, poderíamos dizer que estamos escrevendo sobre "outro" Aquífero Guarani.

A constituição litológica do Aquífero Guarani corresponde a uma sucessão de camadas areníticas, intercaladas por outras mais argilosas plano-paralelas ou em forma de lente. As rochas sobre as quais o conjunto aquífero se assenta são do período Permiano (mais de 248 milhões de anos atrás), de origem sedimentar marinha, que gradativamente sofrem processo de continentalização, até alcançar uma fase de desertificação ainda nessa época muito antiga. Posteriormente, durante o Triássico (de 248 milhões a 206 milhões de anos atrás) houve deposição predominantemente fluvial, lacustre e de planície de inundação de rios. No Jurássico (de 206 milhões a 142 milhões de anos atrás) só ocorreram sedimentações na última fase. Finalmente, no Eocretáceo (cerca de 130 milhões de anos atrás) estabeleceu-se uma sedimentação arenosa eólica na forma de extenso deserto, que cobriu grande parte da área que corresponde ao Aquífero Guarani, assemelhando-se ao que hoje é o deserto do Saara.

Do exposto anteriormente, deduz-se a presença de uma constituição extremamente complexa do arcabouço hidroestratigráfico do Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. Ela compreende pelo menos nove unidades hidroestratigráficas, sendo uma depositada entre o final do Permiano e o início do Triássico, seis do Triássico, uma do final do Jurássico e outra do início do Cretáceo. Aqui está ressaltada uma marcante diferença com a ocorrência do Aquífero Guarani no estado de São Paulo, onde somente são encontradas duas unidades hidroestratigráficas: Pirambóia e Botucatu.

Com essas informações se chega a um impasse, pois não estamos em presença de um único aquífero e sim de um "sistema aquífero" Guarani. Suas camadas aquíferas não são unicamente originadas de dunas de um antigo deserto, como os arenitos Botucatu, e sim de intercalações de camadas com diferentes origens e permeabilidades, portanto, com mais ou menos água. Desse modo, quando falamos ou escrevemos "Aquífero Guarani", na realidade estamos simplificando um conceito de sistema aquífero.

A distribuição dessas unidades hidroestratigráficas depende de sua posição e história deposicional. O compartimento Oeste, por exemplo, possui afloramentos da unidade hidroestratigráfica Guará, que não são encontrados em outros compartimentos. Algumas camadas aquíferas triássicas também se restringem a determinado compartimento, estando ausentes nos demais.

Como se pode constatar, o agora denominado Sistema Aquífero Guarani, ao contrário da crença popular e da divulgação na mídia de que é um grande "mar de água doce", na

realidade é um sistema heterogêneo de camadas sedimentares de várias origens, depositadas em um intervalo de mais de 100 milhões de anos, com porosidades e permeabilidades muito variáveis, que vão influenciar em sua potencialidade aquífera.

### **Potencialidade Variável**

O Sistema Aquífero Guarani compreende um ambiente geológico heterogêneo, o que torna difícil a compreensão dos fenômenos de fluxo de suas águas na grande área onde ocorre. Desse modo, para possibilitar seu estudo, um arcabouço hidrogeológico heterogêneo foi estabelecido e, em conjunto com a compartimentação espacial, tornou possível o delineamento da potencialidade aquífera de cada unidade que compõe o grande sistema aquífero.

A unidade hidroestratigráfica Botucatu tem uma ampla distribuição em toda a área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani no estado. É constituída por arenitos de grãos finos a médios, rosados e com grandes estratificações cruzadas relacionadas com dunas de ambiente desértico. Os poços perfurados nessa unidade apresentam uma potencialidade muito variável. Nos compartimentos Oeste e Norte-Alto Uruguai é possível conseguir uma excelente vazão, que pode superar 200 m<sup>3</sup>/h. Entretanto, essa unidade também pode se apresentar como improdutiva em partes dos compartimentos Oeste, Central-Missões e Leste.

A unidade hidroestratigráfica Guará restringe-se unicamente ao compartimento Oeste, tendo sido confundida com a Botucatu, apesar das grandes diferenças de caráter sedimentológico. Compõe-se de arenitos finos a médios, amarelados a esbranquiçados, estratificação planar (horizontal) e por vezes cruzada (inclinada). É um dos principais aquíferos do Rio Grande do Sul e as vazões dos poços podem alcançar até 150 m<sup>3</sup>/h, sendo que sua área de ocorrência avança em direção ao Uruguai. As unidades hidroestratigráficas Arenito Mata e Caturrita ocorrem apenas no compartimento Central-Missões. Suas litologias variam entre um arenito predominantemente fino e um siltito (rocha intermediária entre arenito e argila) avermelhado, muitas vezes em forma de lente. Sua disposição geomorfológica e estrutural não permite grande armazenamento de águas. São raros os poços com vazões acima de 5 m<sup>3</sup>/h.

As unidades hidroestratigráficas Alemoa e Sanga do Cabral também aparecem apenas no compartimento Central-Missões. Suas litologias são respectivamente siltitos argilosos avermelhados e arenitos muito finos, argilosos e avermelhados. As duas unidades são praticamente improdutivas e isolam camadas aquíferas. As unidades hidroestratigráficas Passo das Tropas I e II também se restringem ao Central-Missões. Sua composição é de arenitos médios a grosseiros, rosados a avermelhados, com estratificação cruzada acanalada, de origem fluvial. Diferenciam-se pelas menores vazões e melhor qualidade da água na primeira unidade e vazões que podem ser superiores a 100 m<sup>3</sup>/h na segunda unidade.

A unidade hidroestratigráfica Pirambóia é aquela que está por baixo de todas as camadas no Sistema Aquífero Guarani. Pelo conhecimento atual da geologia do Rio Grande do Sul, ela se encontra nos compartimentos Oeste, Central-Missões e Leste. Ela compõe-se

predominantemente de arenitos finos a muito finos avermelhados e siltitos, com estratificações cruzadas de grande porte, relacionadas com dunas de ambiente desértico. As vazões variam entre 3 m<sup>3</sup>/h e 100 m<sup>3</sup>/h.

Com essa composição hidroestratigráfica, o Sistema Aquífero Guarani não apresenta homogeneidade com relação à sua potencialidade, com poços secos em camadas quase impermeáveis, que isolam outras camadas aquíferas de boa permeabilidade e poços de ótima vazão.

Além da disponibilidade variável, nem sempre é possível obter água potável de boa qualidade nesse sistema. Não há homogeneidade tampouco com relação à qualidade. Extensas áreas de águas ficam aquém dos padrões de potabilidade, mas têm excelente potencial de uso em estâncias turísticas de águas minerais e termais.

O extenso reservatório de água que se estende por quatro países, por fim, revela-se extremamente dividido em compartimentos, devido a sua evolução geológica. Como resultado desse processo de mais de 100 milhões de anos, o sistema aquífero apresenta um conjunto heterogêneo de camadas com características diferentes quanto à quantidade e qualidade de águas na ampla região onde ocorre. Essa afirmação, baseada em dados e evidências geológicas, contrapõe-se à visão simplista de um recurso natural quase inesgotável, de fácil obtenção e integralmente de água doce potável. Sua potencialidade, apesar de grande pela extensa área que ocupa, deve ser encarada com reservas, pois cria expectativas que poderão não se confirmar.

## **Gigante subterrâneo**

O sistema aquífero Guarani abrange cerca de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, espalhando-se pelo Paraguai, Uruguai, Argentina e oito estados brasileiros. Nem todas as regiões, porém, são beneficiadas pelas bordas de afloramento e seus arredores, onde as águas costumam ter mais qualidade. A maior extensão das áreas privilegiadas fica no Paraguai, em São Paulo, no Rio Grande do Sul e no Mato Grosso do Sul. Os limites e as características do sistema aquífero são pouco conhecidos na Argentina.



### O vai-e-vem da água

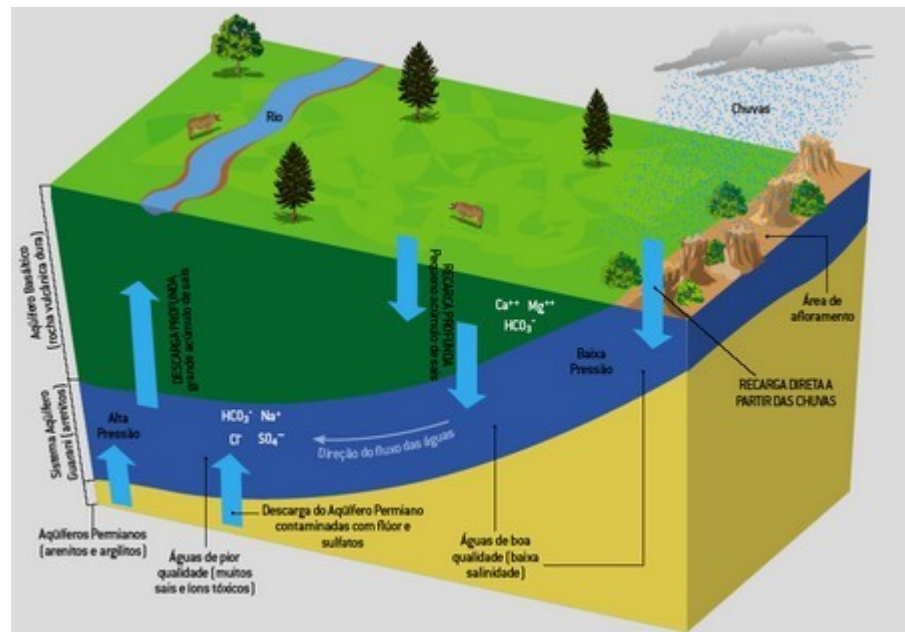
Este modelo conceitual hidrogeoquímico mostra os ciclos de recarga e descarga do Sistema Aquífero Guarani.

Grande parte da camada de arenito que contém a água é confinada, e nesses locais a água precisa atravessar a camada de basalto para chegar ao Guarani. Quanto maior a distância percorrida no subsolo, mais íons de sais ela absorve, e sua qualidade vai piorando. Nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani e proximidades é que as águas tendem a possuir melhor qualidade.

Em áreas muito profundas, por causa da grande pressão exercida pelo peso da terra, são mais comuns áreas de descarga ascendente. Essas águas profundas são sódicas e podem evoluir de bicarbonatadas para sulfatadas e cloretadas, de pior qualidade. O cloreto e o sulfato podem penetrar no Guarani a partir de descargas do Aquífero Permiano, onde este



sofre muita pressão.



### Onde Está a Água Potável?

Além da compartimentação espacial singular, a complexidade da constituição das camadas aquíferas e a notável variação de potencialidade, também é necessária uma definição quanto à qualidade das águas do grande "mar de água doce".

No compartimento Oeste, a presença das unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará e Pirambóia em condições estruturais favoráveis proporciona uma recarga rápida a partir das chuvas. As águas nas áreas aflorantes são bicarbonatadas cálcicas e/ou cálcico-magnesianas à medida que vão fluindo no subsolo. Possuem pH neutro a ácido, com baixos teores de sais

dissolvidos. Nos locais onde as camadas aquíferas estão em maior profundidade, confinadas por rochas vulcânicas, as águas são bicarbonatadas sódicas, com pH alcalino e teores de sais mais elevados. Em geral, as águas são de boa qualidade e potáveis.

No compartimento Central-Missões, com a presença de unidades hidroestratigráficas triássicas, mesmo nas áreas de afloramento a qualidade das águas apresenta grandes variações. As águas das camadas mais arenosas podem ser bicarbonatadas alcalinas mesmo a pequena distância das áreas de recarga. A evolução geoquímica (acúmulo de sais no subsolo) é rápida e os teores de cloretos e salinidade total logo ultrapassam os limites de potabilidade. O aparecimento de teores excessivos de fluoretos também é um dos maiores problemas com relação à qualidade dessas águas.

No compartimento Leste, geralmente os poços possuem pouca profundidade e estão em áreas de afloramento ou próximo dessas. A região caracteriza-se pela presença de águas de qualidade boa a excelente, com pH ácido a levemente alcalino, e salinidades dentro dos padrões de potabilidade.

No compartimento Norte-Alto Uruguai, o Sistema Aquífero Guarani encontra-se totalmente coberto pelas rochas vulcânicas da unidade hidroestratigráfica Serra Geral. Devido ao posicionamento estrutural do aquífero, os poços são de grande profundidade (350 a 1.200 metros).

Como consequência, suas águas possuem idades muito antigas e não são potáveis em grande parte da área. Além do aumento de salinidade (cloretos e sulfatos), os teores de fluoretos são excessivos e os teores de sódio podem causar alcalinização do solo. Novos estudos deverão esclarecer definitivamente a influência que os aquíferos superiores têm sobre a qualidade das águas do Sistema Aquífero Guarani. Entretanto, é importante destacar que é nesse compartimento que ocorrem as mais importantes manifestações de termalismo, com águas quentes sendo originadas nas grandes profundidades das camadas aquíferas. Essa característica confere ao Sistema Aquífero Guarani enorme importância econômica, pois suas águas possuem altas temperaturas, compatíveis para o uso em estâncias turísticas termais e em outras atividades industriais.

### **Para conhecer mais**

Site do Projeto Sistema Aquífero Guarani: [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)

**Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação.** U. F. Faccini. Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

**Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** J. L. F. Machado. Tese de doutoramento. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 237 págs., 2005.

**Aqüífero Guarani. A verdadeira integração dos países do Mercosul.** E. F. Rosa Filho, N. R. B. Borghetti e J. R. Borghetti. Fundação Roberto Marinho/Itaipu Binacional, 2005.

**Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Eocretáceo da bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul.** C. M. S. Scherer. Tese de doutoramento, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 230 págs., 1998.

José Luiz Flores Machado é geólogo formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), diplomado em hidrogeologia pela Universidad de Madrid (UCM). Seu doutorado em geologia sedimentar pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) foi sobre geologia e estruturação do Sistema Aqüífero Guarani no Rio Grande do Sul. Desde 1976 é geólogo da CPRM/Serviço Geológico do Brasil, e atualmente coordena e executa estudos hidrogeológicos.

© Duetto Editorial. Todos os direitos reservados.