



# MEMÓRIA

## PROMOÇÃO:

### **Governo Federal**

Ministério do Meio Ambiente  
Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano  
Agência Nacional de Águas

### **Governos Municipais**

Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto  
Prefeitura Municipal de Serrana  
Prefeitura Municipal de Altinópolis  
Prefeitura Municipal de Cravinhos  
Prefeitura Municipal de Jardinópolis  
Prefeitura Municipal de Sertãozinho

### **Governo do Estado de São Paulo**

Conselho Estadual de Recursos Hídricos  
Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo  
Secretaria de Saneamento e Energia  
Departamento de Águas e Energia Elétrica  
Secretaria do Meio Ambiente  
Coordenadoria de Recursos Hídricos  
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
Instituto Geológico

# MODELO CONCEITUAL DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA NOS BASALTOS DE RIBEIRÃO PRETO E COMO ISTO AFETA A VULNERABILIDADE DO SAG

*Amélia J. Fernandes, Claudia Varnier, Márcia M. N. Pressinotti,  
Luciana M. R. Ferreira, Mara A. Iritani*  
Instituto Geológico/SMA-SP

*Ingo Wahnfried, Carlos Maldaner, Ricardo Hirata*  
Instituto de Geociências/IGC-USP

*Allen Shapiro*  
United States Geological Survey (USGS)

*Allain Rouleau*  
Universidade de Quebec em Chicoutmi (UQAC)

## Introdução

O Instituto Geológico, em parceria com a USP, USGS, UQAC, e com colaboração do IPT, ON e COC, desenvolveu estudo geológico e hidrogeológico de detalhe em área localizada no distrito de Bonfim Paulista, município de Ribeirão Preto, com o intuito de responder a seguinte questão: existe recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) através dos basaltos do Aquífero Serra Geral (ASG)?

A motivação de realização deste projeto é o fato do SAG, o mais importante e estratégico manancial de água potável do Brasil, estar sendo ameaçado, em termos de qualidade e quantidade, devido à instalação de grandes centros urbanos em áreas constituídas de basalto, mas muito próximas ao afloramento do SAG. Silva (1983) e Sinelli (1987) sugeriram, com base em indícios hidrogeoquímicos, que há recarga do SAG, com águas que atravessam o Aquífero Serra Geral (ASG), em uma faixa de pouco menos de 40 km a partir do contato entre os basaltos e os arenitos da Formação Botucatu para oeste. O Instituto Geológico através da realização de projeto "Sistema de Informação para o Gerenciamento Ambiental do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo" (processo FAPESP 02/10368-0), também detectou que poços de SAG, na área urbana de Ribeirão Preto, apresentam concentrações elevadas de Nitrato e Cloreto, levantando a possibilidade desta contaminação chegar ao SAG através de fraturas transmissivas do ASG. Assim o presente projeto pretendeu contribuir para o entendimento e a quantificação do fluxo vertical através dos basaltos, pois este, em existindo, interfere tanto na disponibilidade hídrica, como na vulnerabilidade à poluição do SAG.

A recarga do SAG através dos basaltos deve ocorrer através de fraturas subverticais que cortam os basaltos. Assim o projeto aplicou métodos que permitem caracterizar tais estruturas tanto geológica como hidrogeologicamente. Os métodos utilizados são resumidamente enumerados abaixo:

(1) mapeamento geológico e estudo das estruturas tectônicas rúpteis posteriores à consolidação dos basaltos;

(2) identificação de descontinuidades em subsuperfície utilizando técnicas de geofísica de superfície;

(3) construção de poços em basalto, nos quais foram realizadas perfilagens geofísicas para caracterização da rocha e de suas fraturas, além de perfilagens de temperatura e de condutividade na água contida no poço;

(4) testes de bombeamento, de injeção e slug testes em intervalos específicos, com a utilização de obturadores para a identificação de zonas de fraturas mais transmissivas e quantificação de seus parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e transmissividade);

(5) testes de bombeamento do SAG, de longa duração, com observação do SAG e do ASG em poços próximos;

(6) testes com traçadores para investigar a porosidade efetiva do SAG, conexão entre SAG e ASG e problemas construtivos de poços (falta de isolamento sanitário).

(7) coleta de água e realização de análises hidrogeoquímicas e isotópicas em águas do SAG e do ASG;

(5) elaboração de modelos conceituais de circulação de água subterrânea no ASG integrando todos os dados obtidos.

Os resultados são descritos abaixo de forma bastante sucinta.

## **Resultados**

### **Geologia e análise estrutural**

Na área de Bonfim Paulista (Figura 1) foram identificados quatro derrames de basaltos com espessuras que variam predominantemente entre 50 e 80 m. Os contatos dos derrames mergulham para sudoeste. As porções superiores de cada derrame apresentam níveis vesiculares, cuja espessura varia de 2 a 30 m. Da base para o topo, os derrames foram chamados de B1, B2, B3 e B4. Entre B2 e B3 são comuns corpos de pequena espessura (até 5 m) de arenitos.

Fraturas subhorizontais de grande extensão podem estar presentes nos contatos entre derrames e na porção inferior de B3. A porção central de cada derrame apresenta grande densidade de fraturas subverticais (a grande maioria preenchida por minerais), mas só uma pequena minoria destas, e ainda de forma descontínua está presente nos níveis vesiculares e nos arenitos intertrappe, sugerindo que estas porções sejam uma barreira hidráulica para o fluxo vertical de água. Considera-se que apenas zonas de fratura de grande envergadura, que parecem ser pouco frequentes na área de estudo, seriam capazes de sectionar os níveis vesiculares e arenitos de modo a promover a conexão entre ASG e SAG.

## **Hidrogeologia**

Os níveis de água do SAG e ASG, observados nos poços construídos, mostram que o fluxo de água subterrânea, no local do estudo, é descendente, já que a potenciométrica do basalto é mais alta que a do SAG. As perfilações dos poços e os ensaios hidráulicos com obturadores mostram que a circulação de água nos basaltos dá-se preferencialmente ao longo de fraturas sub-horizontais que ocorrem até cerca de 30 m de profundidade, com baixas transmissividades individuais. Também pode ocorrer fluxo de água muito lento nos níveis vesiculares, provavelmente possibilitado por pequenas fraturas que conectam as vesículas e geodos. As fraturas subverticais que seccionam os poços não são hidráulica-mente ativas, indicando que a grande quantidade de fraturas subverticais que cortam os basaltos densos não promovem o fluxo de água subterrânea, ou seja, tais fraturas estão fechadas ou seladas, como indicado por observações geológicas. No poço Limeira (PL), foram testados, com obturadores, os seguintes intervalos: 16,2 a 17,3 (fratura transmis-siva subhorizontal); 24,2 a 25,3 (fraturas de mergulhos baixos e direção predominantemente NE) ; 55,1 a 58,5 (nível vesicular). Em nenhum teste de bombeamento, por mais longo que fosse, foi notada uma passagem, em tempo médio a tardio de execução, de água entre os níveis obturados, denotando que não deve haver conexão entre as fraturas testadas. Com a subdivisão do poço PL em 2 partes por um obturador, a transmissividade do intervalo superior (acima de 58 m de profundidade) mostrou-se 2 ordens de grandeza maior que a da porção inferior.

Foi realizado ensaio de 7 dias no SAG, com bombeamento do poço Esmeralda (PE) que penetra cerca de 58 m nos arenitos. A observação de dois poços, com piezômetros no SAG e no ASG, fez parte do teste de modo a que os resultados não fossem influenciados por perdas de carga no poço bombeado. A condutividade hidráulica determinada varia em função da direção, e os valores são um pouco menores que os encontrados na literatura. A curva de rebaixamento obtida com o teste indica que a drenança do ASG para o SAG ou é muito reduzida ou é inexistente.

## **Hidroquímica e isótopos**

Os dados isotópicos, em concordância com os geológicos e hidrogeológicos, mos-tram que as águas mais rasas no basalto tem conexão com a superfície, no entanto, abaixo da profundidade de 50 m as águas são muito antigas e de reduzida conexão, tanto com os intervalos mais rasos como com o SAG subjacente, cujas águas são mais jovens que as do basalto em 55 m de profundidade.

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  variam com a profundidade de coleta no PL. As águas tornam-se mais empobrecidas, ou seja, com menor recarga recente, em  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  e mais antigas (dados de  $\delta^{13}\text{C}$ ) com o aumento da profundidade, sobretudo a 55,0 m, mostrando reduzida conexão hidráulica entre as águas dos vários intervalos. As assi-naturas isotópicas mostram que as águas de 55 m são muito antigas, além de empobreci-das em isótopos estáveis, inclusive com relação às águas do SAG subjacentes (coletadas

no poço piezômetro PPE2G). Assim, conclui-se por reduzida ou nenhuma conexão entre SAG e ASG na área.

### **Modelo conceitual**

As principais características do fluxo de água no ASG são:

- Fluxo vertical intenso através de fraturas verticais até profundidades da ordem de 20 m, é restrito a posições mais elevadas topograficamente, sendo que grande parte da água que infiltrou através do solo e fraturas sai do sistema ou no contato solo/rocha alterada, ou ao longo de fraturas sub-horizontais, formando nascentes nas encostas.
- Fluxo horizontal preferencial ao longo de fraturas horizontais a sub-horizontais de continuidade decamétrica a até centenas de metros, descontínuas, que ocorrem até cerca de 40 m de profundidade.
- Os níveis vesiculares apresentam fluxo lateral lento, provavelmente possibilitado por pequenas fraturas que propiciam a conexão entre as cavidades existentes neste níveis (vesículas e geodos). Camadas lateralmente descontínuas e pouco espessas de arenitos incrementam K e a capacidade de armazenamento.
- Fluxo vertical é regionalmente impedido devido à baixa densidade de fraturas nos níveis BVA e à baixa condutividade hidráulica das fraturas do basalto denso. É possível que este fluxo ocorra muito localizadamente ao longo de estruturas de maior envergadura, que seccionam tanto os basaltos densos como os níveis vesiculares, e que apresentam direção favorável a sofrer cisalhamento, resultante da atuação do campo de esforços atual.

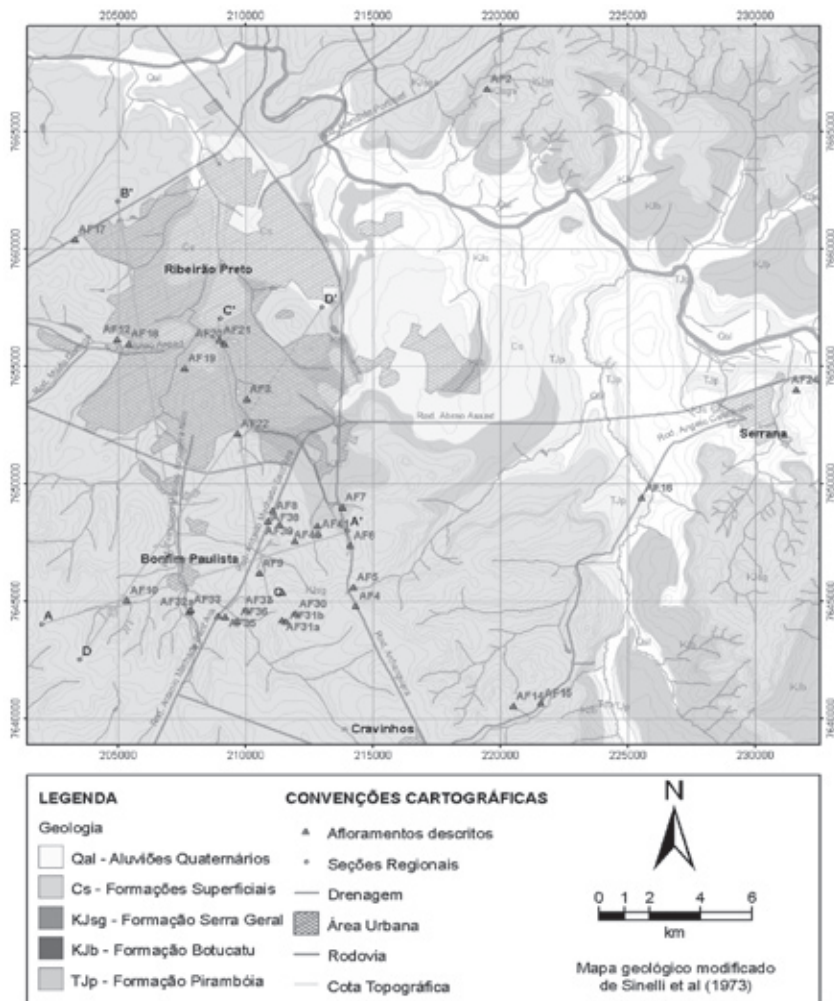


Figura 1. Mapa geológico e de localização de poços, afloramentos, seções regionais e da área selecionada para estudo de detalhe (retângulo em preto que contém Bonfim Paulista).