

PERFIL HIDROGEOLÓGICO ESTRUTURAL VERTICAL DE AQUÍFERO CRISTALINO FRATURADO NA REGIÃO DE JURUBATUBA, SÃO PAULO

Daphne Silva Pino ¹, Paulo Lojkasek Lima ², Silvia Molinas ², Marcos Barbosa ², Ricardo Hirata ², Amélia Fernandes ³, Beth Parker ⁴, Reginaldo Bertolo ²

¹ Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS). Rua do Lago, 562. São Paulo (SP).
daphne.pino@usp.br.

² CEPAS. Rua do Lago, 562. São Paulo (SP).

³ Instituto Geológico (IG). Rua Joaquim Távora, 822. São Paulo (SP).

⁴ University of Guelph. 50 Stone Road East. Guelph (ON).

Palavras-Chave: aquífero fraturado, método DFN, Jurubatuba

INTRODUÇÃO

Na Região Metropolitana de São Paulo, poucos são os casos de investigação ambiental em aquíferos cristalinos; em geral, os estudos limitam-se à porção sedimentar, rasa. Este é o caso do Canal do Jurubatuba, uma área reconhecidamente complexa não apenas geologicamente, mas inclusive do ponto de vista do gerenciamento ambiental, em que o aquífero fraturado se encontra contaminado por etenos clorados provenientes de fontes multipontuais. Nessa região, sedimentos aluviais da Bacia de São Paulo estão sobrepostos a uma expressiva camada de manto inconsolidado e ao embasamento gnáissico de rochas do Complexo Embu.

Dessa forma, o presente estudo visa, através da aplicação do método *Discrete Fracture Network* (DFN), contribuir com subsídios técnicos para o poder público realizar o gerenciamento ambiental de áreas hidrogeologicamente similares. O método DFN, inédito no Brasil e em aquíferos de rochas cristalinas fraturadas, compreende o uso de tecnologias avançadas de investigação de estruturas rúpteis e de monitoramento de água subterrânea.

MÉTODOS

O método DFN proposto por Parker (2007) consiste de uma série de atividades consecutivas que visam caracterizar detalhadamente o aquífero fraturado, do ponto de vista físico e hidráulico, bem como determinar o comportamento do contaminante tanto na rocha como na água subterrânea. Dois fatores o diferenciam dos métodos convencionais de pesquisa de aquíferos fraturados em áreas contaminadas: (1) uso de testemunhos de rocha para análises de contaminantes, e (2) uso de membranas flexíveis que selam o poço.

Primeiramente, os poços são perfurados com recuperação de testemunhos contínuos de sondagem e, concomitantemente, são descritas as litologias e as estruturas, bem como alteração da rocha e formação de minerais secundários. Em laboratório, outras feições são analisadas, como porosidade e intemperismo de minerais. Diversas amostras são selecionadas do testemunho para análises químicas, a fim de determinar a distribuição do contaminante na matriz da rocha, e para análises físicas para determinar suas propriedades hidráulicas, tais como porosidade, densidade, fração de carbono orgânico, difusividade a contaminantes e permeabilidade ao ar. A coleta de amostras para análises químicas é realizada com uma frequência média de 3 amostras por metro de perfuração.

No furo sem revestimento, são realizadas diversas perfilagens geofísicas, como acústica, óptica, sônica, de calibre e gama natural, além de ensaios com sistemas de obturadores de pressão. Posteriormente, membranas flexíveis denominadas FLUTE blank liners (Keller et al., 2004) são instaladas a fim de se prevenir a circulação de água dentro do poço, evitando a contaminação cruzada (Cherry et al., 2007). Ainda

no poço revestido pelo liner, são realizadas perfilagens de temperatura de alta resolução para detectar fraturas com circulação de água (Pehme et al., 2010).

Após os ensaios em furo aberto e selado, as zonas de interesse podem ser definidas para a instalação de sistema multinível de alta resolução. Este sistema permite monitorar as cargas hidráulicas e realizar coleta de amostras de água subterrânea a profundidades discretas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição litológica e mineralógica dos perfis de sondagem permitiu identificar as seguintes unidades, do topo para a base: unidade antropogênica; sedimentos aluvionares (argila orgânica e areia fina); saprolito (areia fina a média com intercalações de argila siltosa); rocha alterada mole – RAM (areia fina a média pouco siltosa), rocha alterada dura – RAD (veios de quartzo, granada-biotita-feldspato-quartzo-gnaiss e granada-turmalina-feldspato-quartzo-pegmatito), e rocha sã (granada-biotita-feldspato-quartzo-gnaiss, granada-feldspato-quartzo-biotita gnaiss bandado, e pegmatito).

Os dados coletados através de perfilagens geofísicas corroboram as observações de estruturas realizadas durante a descrição do testemunho de sondagem. Estruturas de baixo ângulo (0-30° de mergulho) ocorrem com maior frequência associadas à foliação (tipicamente entre 05° e 20° de mergulho) nas porções mais xistosas, enquanto as de médio ângulo (30-60° de mergulho) são mais comuns nas rochas gnáissicas. Foram identificadas mais de 170 estruturas, entre contatos de rocha, fraturas, veios e foliação. As fraturas foram classificadas em: maior (abertura contínua ao longo do traço da fratura), menor (abertura descontínua no traço da fratura), contínua (sem abertura perceptível no traço da fratura), incompleta (traço não contínuo). Na RAD foram observadas 3 famílias de fraturas, enquanto na rocha sã, outras 4 famílias foram identificadas. De modo geral, as famílias de fraturas na rocha sã apresentam transmissividade superior às da RAD, de acordo com os resultados dos ensaios com obturadores. Fraturas maiores foram observadas apenas em rocha sã.

A partir dos resultados obtidos, foram instalados dois sistemas de monitoramento multinível: Westbay (com 15 zonas de monitoramento) e CMT (com 7 portas de monitoramento). Estes sistemas foram utilizados para duas campanhas de amostragem de água, nas quais se avaliaram as concentrações de compostos orgânicos voláteis, isótopos específicos de compostos (CSIA), cátions e ânions maiores (Lojkasek-Lima, 2018), e o potencial de microorganismos responsáveis pela degradação natural de organoclorados (Molinas-Ferreira, 2017). Ademais, estão sendo realizados monitoramentos periódicos de carga hidráulica para avaliação de gradientes hidráulicos verticais (Pino, 2017).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro ao projeto das agências FAPESP (processos nº 2013/10311-1 e nº 2015/02474-5), Finep (processo nº 1824/2010), Ministério Público de São Paulo, Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP), e CAPES (processo nº 88881.134986/2016-01). Ademais, agradecem a contribuição científica e técnica de colegas da Universidade de Guelph, Universidade de Waterloo, Instituto Geológico, CETESB, Engesolos e IPT, bem como a colaboração das empresas Ergomat, Essencis, Tetrattech e Servmar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cherry, J. A.; Parker, B. L. e Keller, C. A new depth-discrete multilevel monitoring approach for fractured rock. *Ground Water Monitoring & Remediation*, vol. 27, n. 2, p.57-70.
- Keller, C. E.; Cherry, J. A. e Parker, B. L. New method for continuous transmissivity profiling in fractured rock. *Ground Water*, vol. 52, n. 3, p. 352-67.

Lojkasek-Lima, P. Caracterização de detalhe do perfil vertical de contaminação em um aquífero cristalino fraturado e intemperizado - Jurubatuba – São Paulo – SP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 160p. 2018.

Molinas-Ferreira, S. A. Processos microbiológicos associados à degradação de solventes organoclorados na água subterrânea – Jurubatuba –São Paulo – SP. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. 128p. 2017.

Parker, B. L. Investigating contaminated sites on fractured rock using the DFN approach. NGWA Fractured Rock Conference: State of the Science and Measuring Success in Remediation, Proceedings. 18p. 2007.

Pehme, P.E.; Parker, B. L.; Cherry, J. A. e Greenhouse, J. P. Improved Resolution of Ambient Flow through Fractured Rock with Temperature Logs. Groundwater, vol. 48, n. 2, p. 191-205. 2010.

Pino, D. S. Caracterização hidráulica de super detalhe do aquífero cristalino fraturado do Jurubatuba, São Paulo (SP). Exame de Qualificação para Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 141p. 2017.