

PALEOSSOLOS ARGILOSOS PODEM INFLUENCIAR A DETERMINAÇÃO DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AQUIFERO DE BAIXA PERMEABILIDADE?

Kamylla F. B. da Silva ¹; Lucas J. Athayde ¹; Giorgio Basilici ²; Fernanda C. Vieira ¹; Sueli Yoshinaga ²
Paulo L. Lima³

¹ Arcadis Brasil S.A - Rua Libero Badaró 377 6 andar São Paulo (SP) kamylla.silva@arcadis.com

¹ Arcadis Brasil S.A - Rua Libero Badaró 377 6 andar São Paulo (SP) lucas.jardim@arcadis.com

² Universidade Estadual de Campinas – Zeferino Vaz Campinas – (SP) basilici@ige.unicamp.br

¹ Arcadis Brasil S.A - Rua Libero Badaró 377 6 andar São Paulo (SP) fernanda.vieira@arcadis.com

² Universidade Estadual de Campinas – Zeferino Vaz Campinas – (SP) sueli@ige.unicamp.br

³ CEPAS – Centro de Pesquisa de Água Subterrânea – USP-Rua do Lago 562 Cidade Universitária – (SP) paulo.lojkasek@gmail.com

Palavras chaves: alta resolução, baixa permeabilidade, fluxo e água subterrânea.

1 – INTRODUÇÃO

Antigas e atuais áreas industriais na região metropolitana de São Paulo apresentam graves problemas ambientais em relação a solo e água subterrânea. Estes locais foram estudados ao longo das últimas três décadas para melhor entender como os compostos químicos, que causam impactos ambientais, podem ser remediados de forma eficaz (Bertolo, 2018). Estas contaminações estão geologicamente posicionadas em paleossolos argilosos e arenosos da Bacia sedimentar de São Paulo, que constitui o Aquífero sedimentar de São Paulo, e podem atingir níveis mais profundos contaminando o Aquífero Cristalino, composto por rochas gnáissicas do Complexo Embu. Os produtos químicos que contaminam estes aquíferos são organoclorados mais densos que a água (DNAPL), os quais tendem a migrar verticalmente no perfil de solo não saturado até atingir o aquífero (O'Hara, 2000). Entretanto, quando entram em contato com horizontes de paleossolos argilosos de baixa permeabilidade, eles são absorvidos na porosidade presente no paleossolo retardando a migração para a água subterrânea (Mcarthur, 2008), formando fontes secundárias de alta complexidade para aplicação de técnicas de remediação.

De acordo com o mapa geológico/estrutural (Walm, 2012), representado na **Figura 1**, se observa que área de interesse está inserida no contexto da borda da Bacia sedimentar de São Paulo, na região metropolitana de São Paulo. A estruturação geológica da região é similar à região metropolitana de São Paulo, e é influenciada pelos alinhamentos estruturais do embasamento da região, que corresponde ao Complexo Embu. Esta estruturação geológica favoreceu a formação da Bacia sedimentar de São Paulo, preenchida por sedimentos da Formação Resende e por sedimentos recentes aluviais (Quaternário).

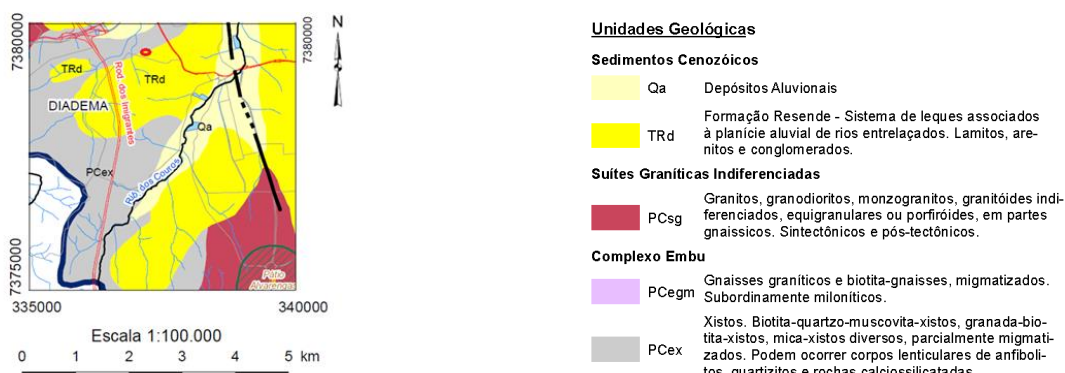


Figura 1 - Mapa geológico e estrutural. *Fonte: Modificado de Mapa Geológico da AII e AID - EIA-RIMA - Estudo ambiental e relatório de impacto ambiental - linha bronze Março 2012 - WALM Engenharia e Tecnologia Ambiental.*

Os sedimentos argilosos da Formação Resende e as rochas gnáissicas e pegmatíticas do Complexo Embu sofreram processos pedogenéticos, formando paleossolos e solos argilosos reliquiais na área de

interesse compondo um espesso manto de intemperismo que constitui uma zona de baixa permeabilidade dentro do Aquífero Sedimentar de São Paulo.

2 - Objetivo

O objetivo deste trabalho foi correlacionar estruturas paleopedogenéticas (micro fraturas e fraturas) geradas por processos pedogenéticos em paleossolos argiloso siltosos às características hidráulicas de aquíferos de baixa permeabilidade, obtidas através de ensaios hidráulicos do tipo *hydraulic profiling tool* (HPT) e *slug/bail down test*, permitindo maior entendimento quanto ao fluxo da água subterrânea e à migração dos organoclorados que causam impactos na água subterrânea.

3 – Metodologia

Foi realizada uma descrição macroscópica dos horizontes encontrados através de sondagem mecanizada (*Hollow Steam Auger*) para detalhamento da estrutura e descrição visual mineralógica/granulométrica, foram realizadas sondagens *direct push* utilizando amostrador bipartido de aço galvanizado de 3 polegadas de diâmetro. Este perfil foi correlacionado ao mapeamento hidroestratigráfico, com valores de condutividade hidráulica (K), obtidos através de ensaios HPT e verificados por ensaios *slug test/bail down* em poços de monitoramento de água subterrânea.

Para obter os dados para avaliação da possível correlação, foram desenvolvidas 3 etapas em campo:

- Realização de sondagens de forma mecanizada com uso do caminhão modelo CMT, com revestimento em trado oco e com amostrador bipartido de 3 polegadas de diâmetro, em aço galvanizado e 1 metro de comprimento. Este tipo de amostrador foi adotado para obter menor deformação da amostra, e preservar as estruturas paleopedogenéticas do material. Após a retirada das amostras, elas foram descritas através de observação detalhada macroscópica com lupa de mão de 20x de aumento. Assim foram definidas características paleopedológicas como a granulometria, textura, estruturas pedogenéticas (agregados), presença de raízes, nódulos, matéria orgânica, cor (baseada na carta Munsell) e uma primeira definição de horizonte pedogenéticos.
- Realização de ensaios HPT com Geoprobe, através de *direct push* com amostrador de 1 polegada de diâmetro.
- Realização de ensaios hidráulicos do tipo *slug test* em poços existentes ao longo de diferentes níveis do horizonte de interesse.

4 – Resultados

A caracterização paleopedogenética do horizonte argiloso Bt de interesse indicou uma grande densidade de micro fraturas e fraturas ramificadas, em parte revestidas de óxidos e hidróxidos de ferro, indicando potenciais caminhamentos horizontais e verticais da água subterrânea.

Estes perfis de paleossolos argilosos, parcialmente saturados, com aproximadamente 10 m de espessura são encontrados na maioria dos níveis aquíferos que caracterizam o Aquífero Sedimentar na região metropolitana de São Paulo. Nestes perfis (**Figura 2**) foram reconhecidos dois principais horizontes: um argiloso siltoso (horizonte Bt) com aproximadamente 10 m de espessura, que mostra micro fraturas ramificadas e verticalizadas, de milimétricas a centimétricas, seguido pelo horizonte C com 10 metros de espessura composto por material argilo arenoso gerado a partir da alteração de rochas pegmatíticas sem fraturas, que correspondem ao aquífero de baixa permeabilidade. Estas fraturas ramificadas e milimétricas

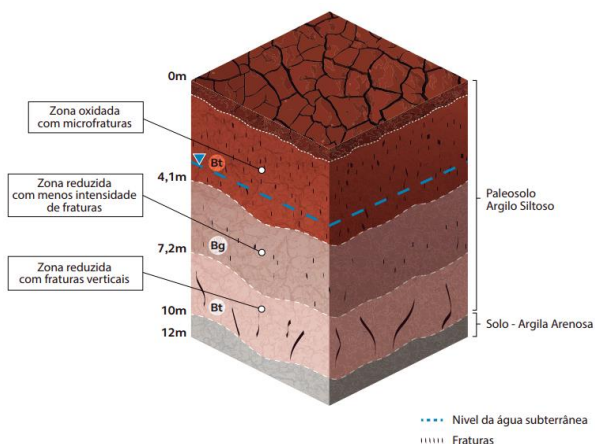


Figura 2 - Esquema vertical de distribuição das micro fraturas nos horizontes.

presentes no paleossolo, com presença de marca de raízes oxidadas, são observadas principalmente entre 1,0 e 7,2 m de profundidade no horizonte argilo siltoso e verticalizadas com maior continuidade entre 7,2 e 10 m de profundidade em agregados argilo siltosos separados por fraturas com estruturas prismáticas (*peds*).

Os ensaios hidráulicos de HPT indicaram uma zona de maior permeabilidade relativa, classificada como zona de fluxo advectivo lento e dispersão, onde foram obtidos resultados de K estimada superiores a 1 m/dia, distintos das zonas de armazenamento que apresentaram resultados inferiores a 0,003 m/dia. Estes resultados foram confirmados com os ensaios de *slug/bail down test* nos poços de monitoramento que interceptam as distintas profundidades, os quais indicaram valores de K que variaram entre 10^{-5} cm/s e 10^{-7} cm/s no nível basal do horizonte do paleossolo oxidado com micro fraturas e 10^{-7} cm/s no centro e porção basal do paleossolo mais reduzido com fraturas verticalizadas.

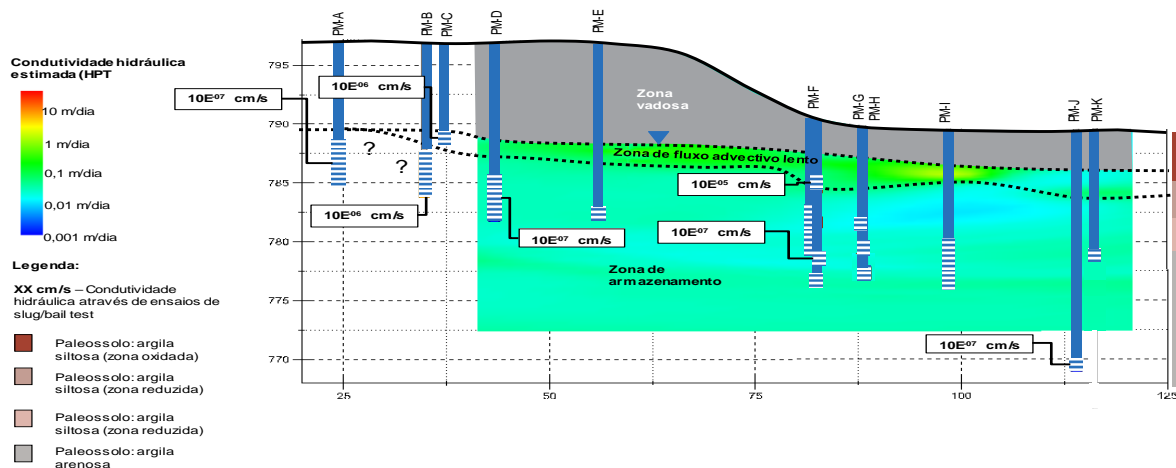


Figura 3 – Seção representando os resultados de K estimada obtidos pelos ensaios HPT e K a partir do *slug/bail test* nos poços existentes para definição das zonas de armazenamento e fluxo advectivo lento.

5 - Conclusão

Este estudo conclui que existe uma correlação entre as estruturas paleopedogenéticas presentes nos paleossolos argilo siltosos e o fluxo da água subterrânea, que podem ser interpretados em função do grau de fraturamento nos diferentes horizontes e dos resultados hidráulicos obtidos através de HPT e *slug/bail down tests*. A região de maior ocorrência das micro fraturas, correspondente ao intervalo de 0,0 a 4,1 m de profundidade (horizonte argilo siltoso oxidado com microfraturas indicado na **Figura 2**), possivelmente condiciona um fluxo advectivo lento na porção mais rasa do aquífero, a qual apresentou valores estimados de K superiores a 1 m/dia. Em contraste, os horizontes de menor grau de fraturamento apresentaram características de armazenamento nos níveis mais profundos, com valores de K estimada inferiores a 0,003 m/dia. Esta correlação foi confirmada através dos *slug/bail down tests*, que indicaram valores de K de 10^{-5} cm/s a 10^{-7} cm/s na zona classificada como zona de fluxo advectivo lento em disparidade com os valores observados em maiores profundidades (10^{-7} cm/s) que configuram características de armazenamento.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLO, R. A. 2018. **Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes organoclorados em aquíferos fraturados**. Tese de livre docência. Instituto de Geociências, USP. São Paulo.
- MCARTHUR, J. M. *et al.* 2008. **How paleosols influence groundwater flow and arsenic pollution – A model from the Bengal Basin and its worldwide implication**. Water Resources Research vol 44.
- O'HARA, S.K., PARKER, B.L, JORGENSEN, P.R., and CHERRY, J.A. 2000. **Trichloroethene DNAPL flow and mass distribution in naturally fractured clay: 1. Evidence of fracture variability**. Water Resources Research 36, no. 1: 135–147.
- WALM Engenharia e Tecnologia Ambiental, 2012. **EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental, Linha 18 do Metrô – Bronze – Trecho Tamanduateí/Alvarengas**. Disponível em: http://www.metro.sp.gov.br/metro/licenciamento-ambiental/linha_18_bronze.aspx