

# DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS E DE TRANSPORTE DO AQUÍFERO SÃO PAULO POR MEIO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO COM URANINA

Otávio Ferreira<sup>1</sup>, Alexandra Suhogusoff<sup>1</sup>, Tatiana Tavares<sup>2</sup>, Letícia Macedo<sup>2</sup>, Alexandre Barbosa<sup>2</sup>, Murilo Balle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEPAS/IGc-USP - Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas/Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562. São Paulo (SP). otavio.barbosa.ferreira@usp.br; suhogusoff@usp.br

<sup>2</sup>CTGeo/IPT – Centro de Tecnologias Geoambientais/Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Av. Prof. Almeida Prado, 532. São Paulo (SP). ttavares@ipt.br; leticiasm@ipt.br; muselli@ipt.br; balle@ipt.br.

**Palavras-Chave:** aquífero São Paulo; condutividade hidráulica; uranina.

## INTRODUÇÃO

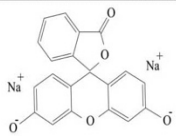
A aplicação de traçadores vem sendo utilizada para melhor compreender o comportamento das águas superficiais e subterrâneas. A partir da década de 1960, os corantes fluorescentes vêm sendo amplamente utilizados como traçadores hidrogeológicos (Wilson Jr et al., 1986). Atualmente, em hidrogeologia, um dos usos dos corantes fluorescentes é como ferramenta de aperfeiçoamento de modelos conceituais de áreas contaminadas, baseados na melhor compreensão do meio físico, muitas vezes heterogêneo, e dos parâmetros de transporte de um aquífero (Oliveira et al., 2016).

Os corantes fluorescentes são definidos como compostos orgânicos que apresentam fluorescência, ou seja, são capazes de absorver energia em diferentes comprimentos de onda e de retransmiti-la no intervalo espectral da luz visível (Wilson Jr et al., 1986). Esse fenômeno físico ocorre devido à emissão de energia na forma de fótons (luz) por parte de alguns elétrons da substância fluorescente, em estado excitado, ao retornarem às suas posições menos energéticas (Wilson Jr et al., 1986).

Dentre os diversos corantes fluorescentes disponíveis no mercado, as tinturas *xanthene* são preferíveis como traçadores hidrogeológicos por serem (i) solúveis em água, (ii) facilmente detectáveis devido à sua forte fluorescência, (iii) fluorescentes em uma faixa do espectro incomum para compostos encontrados na água, (iv) atóxicas em baixas concentrações e (v) razoavelmente estáveis sob condições ambientais normais (Wilson Jr et al., 1986).

O traçador fluorescente selecionado para esse trabalho foi a uranina, também conhecida como fluoresceína sódica ou amarelo ácido 73. Algumas propriedades físico-químicas desse traçador encontram-se na Tabela 1. Smart e Laidlaw (1977) e Suhogusoff et al. (2005) reportam a dependência direta da estabilidade da uranina em função do pH, decaimento fotoquímico, turbulência e fluorescência de fundo.

Tabela 1. Características físico-químicas da uranina.

Uranina							
Nome genérico <sup>a</sup>	Grupo <sup>a</sup>	Fórmula <sup>a</sup>	Estrutura <sup>b</sup>	Massa molecular <sup>a</sup> (g/mol)	Máxima excitação/emissão <sup>c</sup> (nm)	Log K <sub>ow</sub> <sup>b</sup>	Fornecedor
Amarelo ácido 73	Xanthene	C <sub>20</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>		376	490/520	-0,39	Labsynth

<sup>a</sup>Ghanem et al. (2003)

<sup>b</sup>Field et al. (1995)

<sup>c</sup>Smart and Laidlaw (1977)

A escolha da uranina foi fundamentada em pesquisas bibliográficas sobre suas aplicações em hidrogeologia. Características como baixa interação em subsuperfície com os materiais sólidos do aquífero, relativa facilidade de obtenção e baixa toxicidade corroboraram para a escolha do traçador.

O presente trabalho tem por objetivo estudar a interação dos sedimentos cenozóicos do Aquífero São Paulo com o traçador fluorescente por meio de experimentos em escala de laboratório, a fim de embasar sua injeção futura diretamente no aquífero para o entendimento de sua hidráulica. Dessa forma, será caracterizado o comportamento do traçador com o material sólido do aquífero, bem como serão empiricamente definidos parâmetros hidráulicos e de transporte a serem utilizados na calibração de modelos numéricos elaborados em etapas posteriores.

## ÁREA DE ESTUDO

A Bacia de São Paulo é composta pelas formações terciárias Resende, São Paulo, Tremembé e Itaquecetuba (Riccomini, 1990) recobertas por sedimentos alúvio-coluvionares quaternários. A bacia insere-se no arcabouço estrutural do *Rift* Continental do Sudeste Brasileiro, caracterizada como um hemigraben orientado para NE (Riccomini, 1990).

A coleta do material do aquífero foi realizada na porção norte (local de *background*) de uma área contaminada (Figura 1) de 15.338m<sup>2</sup>, atualmente sob investigação, no município de São Paulo. O local da coleta de solo encontra-se a montante da zona contaminada do *site*. Nessa região, a porção rasa da cobertura aluvionar do Aquífero São Paulo é definida por três camadas litológicas. Recoberta por 2,5m de aterro, a primeira camada é composta por uma argila orgânica siltosa pouco arenosa de cor preta em presença de material lenhoso grosso, com diminuição descendente gradual em volume até a sua base, a 5,0m de profundidade. Sotoposto à camada de solo orgânico, entre 5,0m e 7,0m, o segundo nível compreende uma argila plástica cinza-escuro com gradação para areia média argilosa moderadamente selecionada e subangulosa. A terceira camada é formada por uma areia quartzosa média a grossa de coloração cinza-clara com presença de cascalho, fragmentos líticos e, subordinadamente, minerais micáceos.

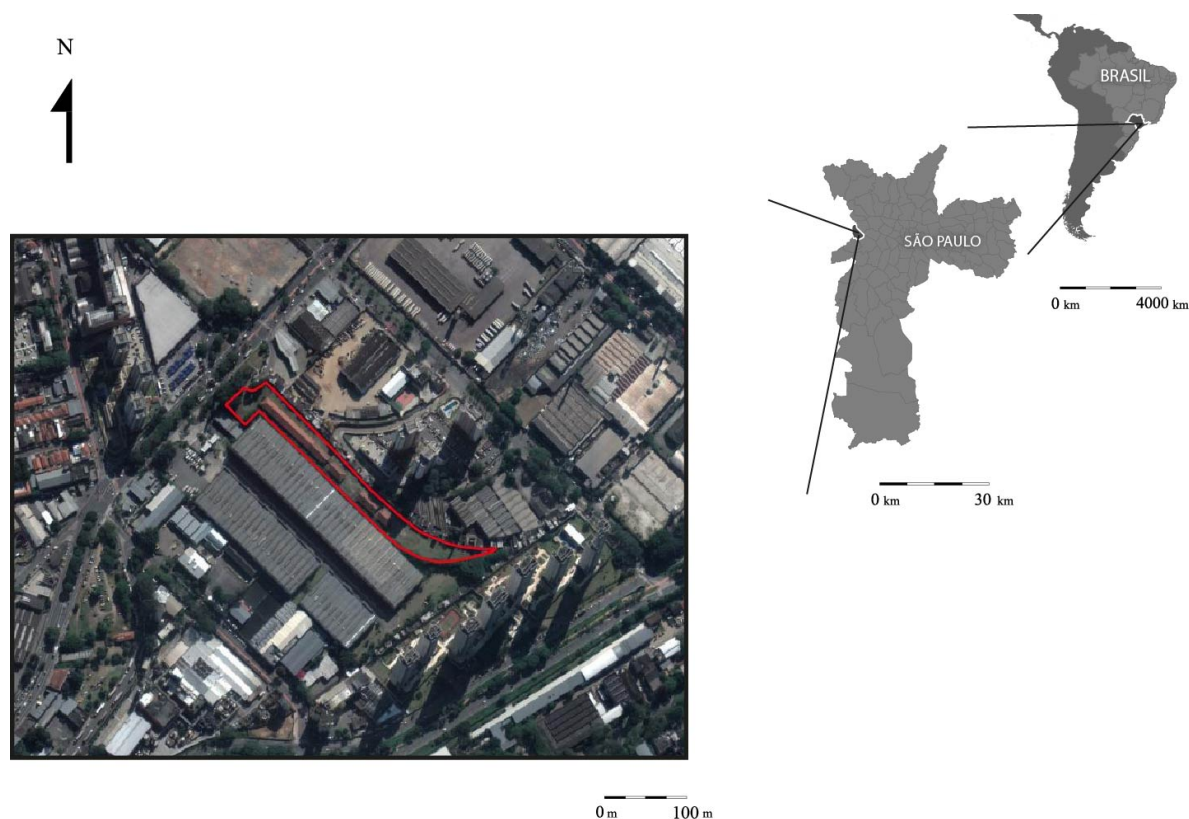


Figura 1 – Localização da área de estudo em vermelho.

## METODOLOGIA

Visando estimar as possíveis interações uranina/solo e quantificar os parâmetros hidráulicos e de transporte do aquífero, serão realizados *batch-tests* e ensaios de colunas de sedimentos.

Os *batch-tests* permitem determinar a massa de soluto sorvida (Equação 1) em um aquífero através da determinação do seu coeficiente de partição ou adsorção ( $K_d$ ) entre a água e o sólido (Equação 2), a partir do qual é estimado o coeficiente de retardação ( $R$ ) para o aquífero. O termo sorção refere-se ao processo de transferência de massa do soluto dissolvido na água para o meio sólido poroso (Zheng, 1990), assumindo-se que uma condição de equilíbrio entre as fases é atingida.

Para estes ensaios, serão utilizados materiais sólidos de três composições diferentes que sintetizam a estratigrafia da área, quais sejam: argila orgânica, argila inorgânica e areia quartzosa grossa. Serão montados frascos com uma solução do soluto de interesse dissolvido em água destilada ( $V_{\text{solução}}$ ) em contato com uma massa do material do aquífero ( $m_{\text{sedimentos}}$ ) durante um certo intervalo de tempo e submetido a etapas de agitação. Após o sistema atingir o equilíbrio, será medida a concentração final na solução ( $C$ ) para se estimar a massa de soluto sorvida no meio sólido ( $S$ ). Serão realizados experimentos para cinco concentrações a fim de se construir uma curva que relacione fase adsorvida e fase dissolvida. O coeficiente de partição corresponderá ao coeficiente angular do ajuste entre  $C$  e  $S$ , considerando a isoterma linear (Equação 3). Os ensaios serão acompanhados pela aplicação de cloreto como parâmetro de controle.

$$S = \frac{(C_0 - C) \times V_{\text{solução}}}{m_{\text{sedimentos}}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$K_d = \frac{S}{C} \quad (\text{Equação 2})$$

$$R = 1 + \left( \frac{\rho_b}{n} \right) \times K_d \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

$S$ : Concentração adsorvida [M/M]

$C_0$ : Concentração inicial da solução [M/L<sup>3</sup>]

$C$ : Concentração final da solução [M/L<sup>3</sup>]

$V_{\text{solução}}$ : Volume da solução [L<sup>3</sup>]

$M_{\text{sedimentos}}$ : massa de sedimentos [M]

$K_d$ : Coeficiente de partição ou adsorção [L<sup>3</sup>/M]

$R$ : Coeficiente de retardação []

$\rho_b$ : densidade do solo ou sedimentos [M/L<sup>3</sup>]

$n$ : porosidade [%]

As colunas de sedimentos serão elaboradas através de cravação de *liners* nos níveis específicos já caracterizados do aquífero ou serão manualmente montadas em tubos de PVC. Os testes serão realizados para os três tipos de solo com soluções contendo o traçador conservativo cloreto juntamente à uranina em três concentrações distintas. Através dos ensaios de coluna, será possível calcular a massa de traçador adsorvida no material do aquífero e definir indiretamente, por meio das curvas de ruptura, características de transporte do traçador no material do aquífero.

Em ambos os ensaios, as concentrações de uranina serão medidas por um fluorímetro Turner TD-700. Sua calibração levará em conta o pH da solução, uma vez que ele interfere diretamente na intensidade de fluorescência (IF) do traçador. Dessa forma, as medições serão acompanhadas por correções matemáticas para reduzir o efeito do pH sobre a IF. As argilas serão caracterizadas através da técnica de difração de raios X do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

## RESULTADOS ESPERADOS

Os *batch-tests* e os testes em colunas de sedimentos permitirão determinar o coeficiente de retardação da uranina para os três diferentes tipos de solo, assim como serão definidos parâmetros como dispersividade e velocidade da água no aquífero, onde será futuramente feita a injeção do traçador.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Field M.S., Wilhelm R.G., Quinlan J.F., Aley T.J. **An assessment of the potential adverse properties of fluorescent tracer dyes used for groundwater tracing.** Environ. Monit. Assess. 38:75-97. 1995.

Ghanem, A., Soerens, T. S., Adel, M. M., Thoma, G. J. **Investigation of fluorescent dyes as partitioning tracers for subsurface nonaqueous phase liquid (NAPL) characterization.** J. Environ. Eng. 129, 740-744. 2003.

Oliveira, M. F., Galvez, M. N., Bodelão, T. G., Freitas, J. G., Oliveira, E. **Uso combinado de traçadores ideais e reativos para verificação do desempenho de poços multiníveis.** ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 2016.

Riccomini, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

Smart, P.L e Laidlaw, I.M.S. **An evaluation of some fluorescent dyes for water tracing.** Water Resources Research, 13:15–32. 1977.

Suhogusoff, A. V., Hirata, R., Ferrari L. C. K. M. **Adsorção do traçador fluorescente uranina em sedimentos quaternários da Bacia de São Paulo.** Revista Brasileira de Geociências (35): 551 - 558. 2005.

Wilson JR, J. F., Cobb, E. D., Kilpatrick, F. A. **Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey. Fluorimetric Procedures for Dye Tracing. Book 3 – Applications of Hydraulics,** U. S. Geological Survey, 34 p. 1986.

Zheng, C. **MT3D. A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems.** The United States Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma, 163p. 1990.