

# AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE PERSULFATO APÓS INJEÇÃO NA FRANJA CAPILAR

**Autores:** Bruna Oliveira Agostinho<sup>1</sup>, Sergio Rodrigues Honda<sup>2</sup>, Tatiana Satiko Terada Horimouti<sup>2</sup>, Lilian Puerta Machado Silveira<sup>3</sup>, Ellen Caroline Puglia Leite<sup>2</sup>, Yasmin Cosme Lima<sup>2</sup>, Juliana Gardenalli de Freitas<sup>4</sup>.

## Resumo

A contaminação de águas subterrâneas por compostos orgânicos apresenta-se como um problema para o abastecimento público. Visando a remediação de solos e águas subterrâneas contaminados por esses compostos, foi estudado o transporte de persulfato, oxidante químico utilizado na oxidação química *in-situ*, na franja capilar e na zona saturada em meio homogêneo não-reativo e em solo tropical. Para isso, ensaios em modelo físico bidimensional foram feitos com traçadores e o oxidante escolhido para monitorar a pluma ao longo do tempo. Como resultado destes estudos observou-se que a pluma migra na franja capilar, mas com velocidade menor do que a velocidade da água na zona saturada. Verificou-se também que o aumento da concentração da solução oxidante injetada implica em um aumento da área e profundidade da pluma.

## Abstract

Groundwater contamination by organic compounds is a threat to water supply systems. One alternative for soil and groundwater remediation is *in-situ* chemical oxidation. Aiming to increase the efficiency of such systems, this research evaluated persulfate transport in the capillary fringe and saturated zone below the water table in a non-reactive porous media and a tropical soil. Tests were conducted in a two dimensional physical model using tracer and the oxidant to monitor the oxidant transport over time. It was observed that the oxidant plume migrates in the capillary fringe, but with a velocity around 50% slower than in the saturated zone. It was also noticed that increasing the oxidant concentration results in a larger area and higher plume depths, for injections above or below the water table.

---

1

Filiação: <sup>1</sup>Estudante do curso de graduação de Engenharia Química – UNIFESP, e-mail: b.oliveira.agostinho@gmail.com; <sup>2</sup> Estudante do curso de graduação em Ciências Ambientais – UNIFESP; <sup>3</sup>Estudante do curso de mestrado em Análises Ambientais Integradas - UNIFESP; <sup>4</sup> Professora Adjunta da UNIFESP, e-mail: jgfreitas@unifesp.br.

**Palavras chave:** Persulfato, oxidação química *in-situ*, transporte, franja capilar

**Keywords:** Persulfate, in-situ chemical oxidation, transport, capillary fringe

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a utilização da água subterrânea para o abastecimento é muito comum. No entanto, a contaminação dessas águas por compostos orgânicos (como solventes aromáticos) decorrente de derramamentos acidentais apresenta-se como um risco para os sistemas de abastecimento<sup>[1]</sup>. Devido à baixa solubilidade, estes compostos formam uma fase oleosa na subsuperfície de difícil remediação, os NAPL's (*non-aqueous phase liquids*). Os NAPLs podem ser classificados como LNAPLs (*light NAPL*), menos densos que a água, como a gasolina e o diesel, que tendem se acumular no topo da zona saturada; e DNAPLs (*dense NAPL*), mais densos que a água, que tendem se infiltrar e acumular em camadas de baixa permeabilidade.

Para a remediação de áreas impactadas por estes compostos, pode ser utilizada a oxidação química *in-situ*; a injeção de um oxidante químico em subsuperfície capaz de degradar os contaminantes orgânicos<sup>[2]</sup>. Para que a remediação tenha uma eficiência alta, é fundamental que ocorra o contato entre o oxidante e o contaminante. Assim, nesse projeto foram realizados estudos do transporte e comportamento do oxidante no meio poroso, além da avaliação da interação dos oxidantes com o material do aquífero. Isso define se o oxidante entrará em contato com o contaminante, com tempo e em quantidade suficientes. Para os estudos propostos no projeto, consideraram-se as condições específicas dos solos tropicais brasileiros.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes para avaliar o transporte da solução oxidante foram feitos em modelo físico em duas dimensões (caixa 2D), onde foi simulada a injeção do oxidante persulfato, escolhido devido a sua estabilidade em subsuperfície e a escassez de estudos com esse oxidante. Foram realizados testes preliminares para seleção dos materiais (meio poroso e traçadores) a serem utilizados. Para os estudos do transporte em meio homogêneo não reativo, utilizou-se esferas de vidro simulando a condutividade hidráulica do solo. O solo selecionado foi o Latossolo Vermelho, pois tem as propriedades de solos tropicais bem pronunciadas. Dentre os testes preliminares, foram feitos testes em batelada para seleção de traçadores visuais (fluoresceína) e quantitativos (cloreto e brometo), utilizados para

ilustrar o transporte da pluma oxidante no meio e avaliar a ocorrência de reações, estudos da densidade da solução de oxidante em função da concentração, testes para a seleção das esferas de vidro e a determinação da curva característica do solo.

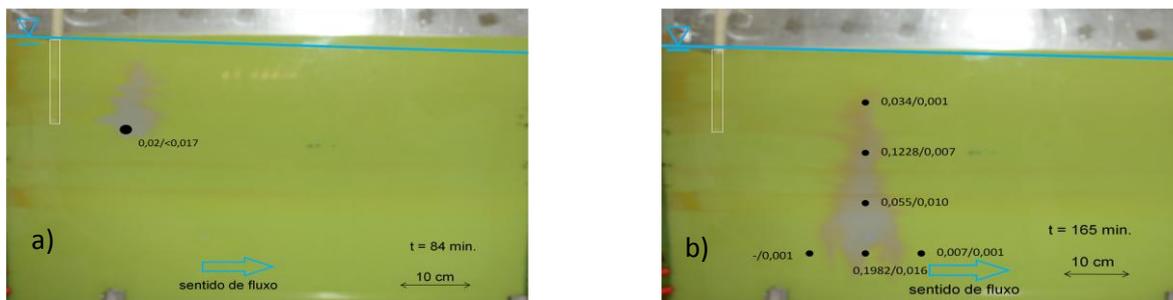
A caixa 2D utilizada foi construída com dimensões de 60x80x3,5 cm (altura x largura x espessura), com parede frontal de vidro. As condições dos ensaios foram definidas de forma a simular aquíferos livres, e permitir estudar a interação entre o oxidante e os contaminantes presentes na franja capilar ou na zona saturada. A solução oxidante era injetada através de um poço e amostras eram coletadas ao longo do tempo, que eram analisadas para os traçadores e persulfato.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos testes em batelada feitos para a seleção de traçadores, foram escolhidos o cloreto e a fluoresceína. O cloreto se comportou como um traçador não reativo, enquanto a fluoresceína reagiu rapidamente com o persulfato, perdendo sua coloração. Como esperado, foi constatado que o aumento da concentração da solução de persulfato resulta em aumento da densidade, sendo observado aumento de 0,9965 g/mL para 1,0177 g/mL quando se aumentou a concentração de 5 g/L para 28 g/L.

Observou-se um deslocamento horizontal da pluma formada pela injeção da solução através do fluxo estabelecido tanto nos testes com injeção na franja capilar, quando na zona saturada (Figura 1a). Além disso, os resultados das concentrações relativas de cloreto e persulfato mostraram que esses dois componentes deslocam-se juntos, confirmando os resultados obtidos nos testes em batelada e a eficácia do método de monitoramento. As velocidades da água e da pluma também foram comparadas e obtiveram-se resultados diferentes para os testes realizados na franja capilar e na zona saturada. Na franja capilar, a velocidade da pluma foi aproximadamente a metade da velocidade estimada de fluxo, enquanto na zona saturada as velocidades do fluxo e da pluma foram parecidas, indicando a não existência de um retardamento significativo, mas velocidades de fluxo reduzidas na franja capilar.

Quanto maior a concentração da solução injetada de persulfato, maiores foram as áreas e profundidades da pluma ao longo da caixa (Figura 1b). O efeito da densidade foi bastante aparente em concentrações de 200 g/L, quando a pluma teve um fluxo descendente rápido. Esse comportamento indica que a utilização de concentrações elevadas de oxidante é ineficiente para a remediação de LNAPL's, e favorável a remediação dos DNAPL's.



**Figura 1** - Transporte da pluma oxidante através da caixa 2D. Os pontos ilustrados na figura representam pontos de amostragem no tempo indicado com as concentrações relativas de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ , a) 28 g/L; e b) 200g/L

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo proposto teve como objetivo principal o estudo do transporte de persulfato em meio poroso com o intuito de otimizar a remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas por NAPL's. Quanto aos testes que visavam a remediação de LNAPL's (menos densos que a água), foram feitas injeções em meio poroso não-reativo na franja capilar. A pluma migrou horizontalmente na franja capilar, mas a velocidade da pluma foi metade da calculada pelo fluxo. Para a zona saturada, verificou-se que as duas velocidades são parecidas, não havendo retardamento. Verificou-se que a concentração de injeção tem uma grande interferência no desenvolvimento da pluma, aumentando a sua área de influência e a tendência de deslocamento vertical.

#### 5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao apoio da FAPESP (processos número 2013/16790-0 e 2011/12158-2).

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CETESB, 2012. O Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo - Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo. [www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2012/texto-explicativo.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2012/texto-explicativo.pdf), acesso em 01/11/2014.
- [2] Watts, R.J.; Teel, A.L. 2006. Treatment of Contaminated Soils and Groundwater Using ISCO. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 10: 2-9.