

INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO (HRSC) PARA ESTIMATIVA DO FLUXO DE MASSA EM ÁREA CONTAMINADA POR SOLVENTES CLORADOS EM JURUBATUBA

Marcos Tanaka Riyis ¹; Rafael Muraro Derrite ²; Mauro Tanaka Riyis ³

RESUMO

O sucesso de uma remediação está diretamente ligado à qualidade do Modelo Conceitual do Site (CSM), que, para ser adequadamente desenvolvido, necessita de ferramentas de investigação de alta resolução (HRSC). O presente trabalho mostra que a definição do perfil hidroestratigráfico é condição *sine qua non* para um adequado CSM. O estudo foi feito na área fonte de uma pluma de PCE na região de Jurubatuba, em São Paulo-SP. Foi realizada coleta de dados com o objetivo de estimar o fluxo de massa dessa pluma. As ferramentas utilizadas foram: amostragem de solo *Direct Push*, ensaio de piezocone de resistividade (RCPTu), coleta pontual de amostras de água subterrânea via *Direct Push* e análise em laboratório de campo. Foram detectadas três zonas preferenciais de fluxo, cada uma com diferentes K e concentração dissolvida, intercaladas por zonas de armazenamento, com elevada concentração retida. As maiores concentrações dissolvidas e maior fluxo de massa estão localizados na 3ª zona de fluxo, com concentração de 128 ppm e fluxo de massa estimado em $2,52 \times 10^{-1} \text{ Kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ de PCE. Estudos tradicionais indicaram concentrações da ordem de 1 ppm, e ensaios MIP indicaram picos de concentração em camadas diferentes, associadas às zonas de armazenamento (fase retida).

ABSTRACT

The success of a remediation is directly linked to the quality of Conceptual Site Model (CSM), which, to be properly developed, need high-resolution research tools (HRSC). This work shows that the hydrostratigraphic profile definition is a *sine qua non* condition for a proper CSM. The study was made in the source area of a PCE plume in Jurubatuba, São Paulo-SP. Data collection was conducted aiming to estimate the plume mass flux. The tools used were: Direct Push soil sampling, resistivity piezocone test (RCPTu), punctual groundwater sampling by Direct Push tools and analysis in the field laboratory. Three preferential flux zones have been detected, each with distinct concentration dissolved and K, interspersed by storage zones, with high concentration retained in soil. The highest dissolved concentrations and higher mass flux were located in 3rd flux zone, with 128 ppm of dissolved PCE, and estimated PCE mass flux $2,52 \times 10^{-1} \text{ Kg.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$. Traditional studies indicated about 1 ppm of dissolved PCE, and MIP tests showed peak concentrations in different layers, associated to the storage zones (adsorbed phase).

Palavras-chave: Investigação de alta resolução, áreas contaminadas, fluxo de massa, modelo conceitual, MIP

Keywords: High-resolution site characterization, mass flux, conceptual site model, remediation, MIP

¹ ECD Sondagens Ambientais / Centro Universitário SENAC – (15) 3222-0522 – marcos@ecdambiental.com.br

² Naturea Soluções Socioambientais – rafael@naturea.com.br

³ ECD Sondagens Ambientais Ltda – (15) 3222-0522 – mauro@ecdambiental.com.br

1 – INTRODUÇÃO

A eficiência do projeto de remediação de áreas contaminadas está diretamente ligada à qualidade da etapa de diagnóstico, ou seja, da elaboração de um adequado Modelo Conceitual do *Site* (CSM). Para que ocorra uma adequada elaboração do CSM, é necessário que a etapa de coleta de dados de campo seja priorizada, e que sejam utilizadas ferramentas de investigação de alta resolução (HRSC), pois elas podem fornecer, em escala de detalhe, a caracterização da contaminação, sua distribuição vertical e caracterização detalhada sobre o meio físico, especialmente as informações sobre as heterogeneidades hidrogeológicas [1]. Estudos atuais propõem que, para os projetos de remediação, o foco na concentração estática de contaminantes seja mudado para o foco na massa, diferenciando a massa que se move, ao estimar o fluxo e descarga de massa [2], da massa “imóvel”, ao estimar a massa retida nas zonas de armazenamento e seu potencial de *back diffusion* [3].

Descarga de massa é a massa que se desloca em uma seção definida do aquífero por unidade de tempo, e é uma grandeza fundamental para se avaliar a força dessa pluma e seu potencial em causar riscos [2], [4]. Ela depende da condutividade hidráulica (K), da concentração em cada camada de fluxo identificada, e da área da seção do aquífero por onde essa massa se move. O fluxo de massa é a massa que se desloca em uma unidade de tempo por unidade de área (por exemplo, $\text{Kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$).

O presente trabalho apresenta uma investigação de alta resolução em na área fonte de contaminação por solventes clorados localizada no bairro de Jurubatuba, em São Paulo-SP. Essa investigação foi feita até a profundidade de 6,0 metros, pois, por volta de 5,80 m de profundidade há uma camada de K muito baixa. Essa avaliação foi realizada em três pontos, no sentido longitudinal da pluma. Em cada ponto foi realizado: amostragem de solo *Direct Push* com análise de voláteis em campo; ensaio de piezocone de resistividade (RCPTu) concomitante com ensaio de dissipação de poro pressão (PPDT); amostragem pontual de água subterrânea *Direct Push* com 0,30 m de seção filtrante (*Screen Point*); análise em laboratório de campo para PCE.

2 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A amostragem de solo e os ensaios RCPTu indicaram a presença de 3 zonas preferenciais de fluxo, intercaladas por zonas de armazenamento. As avaliações de voláteis em campo na área fonte indicaram a presença de massa retida significativa nas

zonas de armazenamento (predominantemente argilosas e/ou siltosas). A Tabela 1 mostra os valores de compostos orgânicos voláteis (VOC) medidos em campo, suas respectivas profundidades e o solo descrito em campo para cada profundidade.

Tabela 1. Valores de VOC medidos em campo (ppm)

Profundidade	Solo Descrito	VOC (ppm)
1,80	Argila orgânica preta	228
2,10	Argila orgânica preta	1059
2,40	Argila orgânica preta	1339
2,80	Argila cinza com areia fina	697
3,20	Areia fina, de cor clara, com grande fração de partículas finas	2431
3,60	Areia fina, de cor clara, com partículas finas	287
3,70	Areia fina a média, de cor clara	320
4,00	Areia média, de cor clara	337
4,40	Areia média a grossa, cinza clara	210
4,80	Areia grossa cinza clara	70
4,90	Areia fina, marrom clara com partículas finas	595
5,50	Areia grossa com cascalho em transição de cinza escuro para amarelo	107
6,00	Argila muito compacta amarela	585

Com base nesses valores e no perfil hidroestratigráfico obtido nos ensaios RCPTu, foram selecionadas três profundidades para realizar a amostragem de água Screen Point: a zona de armazenamento com maior concentração de VOC em campo (Z1), a zona de fluxo imediatamente abaixo da Z1 (Z2) e a zona de fluxo mais significativa, imediatamente acima do aquífero (Z3). As profundidades e concentrações obtidas estão na Tabela 2.

Tabela 2. Concentrações de PCE dissolvido e condutividade hidráulica (cm/s) em cada camada identificada

Profundidade	K (cm/s)	Concentração de PCE (mg/L)
Z1 (2,92-3,22)	8,62E-06	2,46
Z2 (3,52-3,82)	1,25E-04	3,34
Z3 (5,22-5,52)	5,10E-04	128,00

Na camada Z3, onde foram obtidas as maiores concentrações na área fonte (128 mg/L), ocorreu um valor elevado de concentração (1,0 mg/L) no ponto 25 metros a jusante, indicando que há fluxo de massa por essa camada. O valor de K obtido através de Slug Test pontual realizado logo após a amostragem Screen Point indicou o valor de $5,01 \times 10^{-4}$ cm/s na camada Z3. Esses dados permitem calcular a estimativa do fluxo de massa para essa camada de $2,52 \times 10^{-1}$ Kg.m⁻².ano⁻¹.

Estudos feitos pelos métodos tradicionais consideram que esse volume investigado corresponde ao “aquífero raso” da área, que possui concentração de 1 mg/L, duas ordens de grandeza inferiores à concentração obtida na camada de menos de 0,5 m de espessura que condiciona o fluxo, indicando que os métodos tradicionais não conseguem fornecer informações na escala adequada. Ensaio MIP foram realizados na mesma área e indicaram picos de concentração entre 2,0 e 3,0 metros, onde o presente trabalho encontrou concentração dissolvida de 2,0 a 3,0 mg/L, muito inferior à concentração de 128 mg/L encontrada na Z3. Isso se explica porque o pico do MIP parece ter ocorrido na profundidade de maior massa retida, indicando que mesmo uma HRSC ainda pode conter incertezas significativas se o CSM for baseado em apenas uma ferramenta qualitativa que não diferencia a massa que se move da massa retida [5].

Para se obter uma estimativa adequada do fluxo de massa, é preciso inicialmente identificar e delimitar as zonas de fluxo e as zonas de armazenamento, depois, avaliar em detalhe as heterogeneidades hidrogeológicas, por último obter dados quantitativos e pontuais sobre a concentração dos contaminantes.

4 – REFERÊNCIAS

- [1] RIYIS, Marcos Tanaka; GIACHETI, Luiz Heraldo; DERRITE, Rafael Muraro; RIYIS, Mauro Tanaka. **Investigação geoambiental de áreas contaminadas com elaboração do modelo conceitual em campo utilizando ferramentas de alta resolução (HRSC)**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) Volume: v. 3. p. 125-137. 2013
- [2] NICHOLS, E. M. **In a State of (Mass) Flux**. Groundwater Monitoring & Remediation, 24: 4–6. doi: 10.1111/j.1745-6592.2004.tb01287.x. 2004
- [3] CHAPMAN, Steven; PARKER, Beth. **High-Resolution Field Characterization and Numerical Model of Contaminant Storage and Release for Low Permeability Zones**. SERDP/ESTCP Partners in Environmental Technology Technical Symposium and Workshop. Washington/DC. Dez/2011
- [4] SUTHERSAN, S., DIVINE, C., QUINNAN, J. and NICHOLS, E. **Flux-Informed Remediation Decision Making**. Groundwater Monitoring & Remediation, 30: 36–45. doi: 10.1111/j.1745-6592.2009.01274.x. 2010
- [5] ROSSI, Michael; PITKIN, Seth; JORDAN, Michael . **Appropriate use and limitations of MIP in HRSC**. Apresentação na Ninth Chlorcon – International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds. Monterey-CA. Maio/2014. Disponível em: http://www.stone-env.com/profiling/Appropriate_Use_and_Limitations_of_MIP_in_HRSC.pdf