

# IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS DE FLUXO E ARMAZENAMENTO UTILIZANDO O PIEZOCONE DE RESISTIVIDADE (RCPTu) COMO FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO PARA ÁREAS CONTAMINADAS

Rafael Muraro Derrite<sup>1</sup>; Marcos Tanaka Riyis<sup>2</sup>; Heraldo Luiz Giacheti<sup>3</sup>; Mauro Tanaka Riyis<sup>4</sup>

## RESUMO:

As tomadas de decisão no gerenciamento de áreas contaminadas estão intimamente ligadas à elaboração de um adequado Modelo Conceitual do *Site* (MCS). Para isso, é necessário possuir um elevado conhecimento sobre as diversas variáveis que intervêm no meio subterrâneo, para que as incertezas possam ser gerenciadas, desde a etapa inicial de investigação até a elaboração de projetos de remediação. Definir a variabilidade da condutividade hidráulica ( $k$ ) ao longo do perfil estratigráfico é uma etapa fundamental para a elaboração do MCS e, conseqüentemente, para compreender o mecanismo de fluxo, transporte e armazenamento, tanto da água subterrânea, quanto de eventuais contaminantes e reagentes. No presente estudo, foi realizada uma investigação geoambiental em uma área contaminada por benzeno em Sorocaba-SP, utilizando ferramentas tradicionais, como a amostragem de solo *Direct Push* pelo método *Piston Sampler*, e de alta resolução como o piezocone de resistividade (RCPTu). O RCPTu se mostrou uma excelente ferramenta de investigação, pois possibilitou estabelecer um detalhado perfil hidroestratigráfico, determinar a variação vertical de  $k$  e identificar as zonas de armazenamento e de fluxo. Isso permitiu uma revisão do MCS que poderá subsidiar um adequado projeto de remediação.

## ABSTRACT

Decision-making in management of contaminated sites are closely linked to the development of a suitable Conceptual Site Model (CSM). For this, it is necessary to have a high knowledge about variables involved in the subsurface environment. Then, the uncertainties can be managed from the initial stage of site assessment to the development remediation projects. To know and understand the variability of hydraulic conductivity ( $k$ ) is one of the fundamental steps for the CSM development, and consequently for the correct remediation project design, generating subsidies for understanding the mechanism of flow, transport and storage of possible contamination and reagents. In this paper, a geo-environmental investigation was conducted in a benzene contaminated site in Sorocaba-SP. This investigation has used traditional tools, like Direct Push Soil Sampling – Piston Sampler method – and high resolution site characterization tools, like the resistivity piezocone (RCPTu). The RCPTu was shown an excellent site assessment tool, because it allowed establish a detailed hydrostratigraphic profile, determine the variation of  $k$  and identify the storage zones and flow/transportation zones. This allowed a review of the MCS that can support an appropriate remediation project.

**Palavras-chave:** Condutividade Hidráulica, Investigação de Alta Resolução, RCPTu

---

<sup>1</sup> Stricto Soluções Ambientais Ltda / UNESP – (15) 3346-9472 – rafael@strictoambiental.com.br

<sup>2</sup> ECD Sondagens Ambientais Ltda – marcos@ecdambiental.com.br

<sup>3</sup> Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) / UNESP – giacheti@feb.unesp.br

<sup>4</sup> ECD Sondagens Ambientais Ltda – marcos@ecdambiental.com.br

## 1 – INTRODUÇÃO

Técnicas de alta resolução de mapeamento da hidroestratigrafia são essenciais para o sucesso de projetos de remediação de áreas contaminadas, pois dentro de uma pequena escala local a variabilidade da condutividade hidráulica ( $k$ ) pode ter uma influência prevalente sobre o fluxo da água subterrânea, transporte e distribuição de contaminantes [1].

Definir, então, a variabilidade de  $k$  dentro de um aquífero é uma etapa fundamental para se entender e detectar possíveis zonas de fluxo, transporte e armazenamento [2], informações essenciais para se dimensionar projetos de remediação, indicando e atingindo exatamente os alvos que mais necessitam de tratamento, diminuindo o custo e duração da remediação [3].

Uma das metodologias apropriadas para se obter um conhecimento detalhado do perfil hidroestratigráfico é o ensaio de penetração de piezocone de resistividade (RCPTu) [4], pois possui resolução que pode chegar a casa dos centímetros e requer um tempo para obtenção de informações relativamente curto quando comparado aos métodos tradicionais de coleta de dados geoambientais (sondagens, instalação de poços de monitoramento, descrição de solo tátil-visual e ensaios hidrogeológicos tipo *slug tests*) atualmente utilizados no Brasil. [5]

## 2 – ESTUDO DE CASO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso cujo objetivo foi identificar, com precisão de centímetros, as possíveis zonas de fluxo e armazenamento utilizando ensaios RCPTu como ferramenta de investigação de alta resolução, possibilitando a elaboração de um adequado Modelo Conceitual do *Site* (MCS). A área de estudo está localizada na cidade de Sorocaba-SP e apresenta uma pluma de contaminação em fase dissolvida de benzeno, detectada por uma investigação detalhada, seguindo os procedimentos determinados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Para construir o perfil hidroestratigráfico do local, foram realizados 06 ensaios RCPTu, com distâncias que variaram de 5,0 m a 9,0 m entre os mesmos, com intenção de se formar um transecto na direção do fluxo preferencial da água subterrânea. Todo o serviço de coleta de dados em campo: ensaios RCPTu e amostragem de solo através do método *Piston Sampler*, foi realizado pela ECD Sondagens Ambientais Ltda. Os ensaios obedeceram à norma ASTM D6067/2010 para os ensaios RCPTu e à ASTM D6519/2008 para a amostragem de solo *Piston Sampler*.

A estratigrafia do local apresentou quatro tipos diferentes de solo, com alternância e variações ao longo do perfil entre camadas de argila, silte argiloso a silte arenoso e areia argilosa. A descrição desse perfil teve como base as amostras de solo coletadas via *direct push* pelo método *Piston Sampler* aliada a interpretação dos ensaios RCPTu [4]. A amostragem de solo serviu para calibrar a interpretação dos resultados obtidos nos ensaios RCPTu. A Figura 1 mostra parte de um dos ensaios (10,0m a 15,0m do ensaio 6).

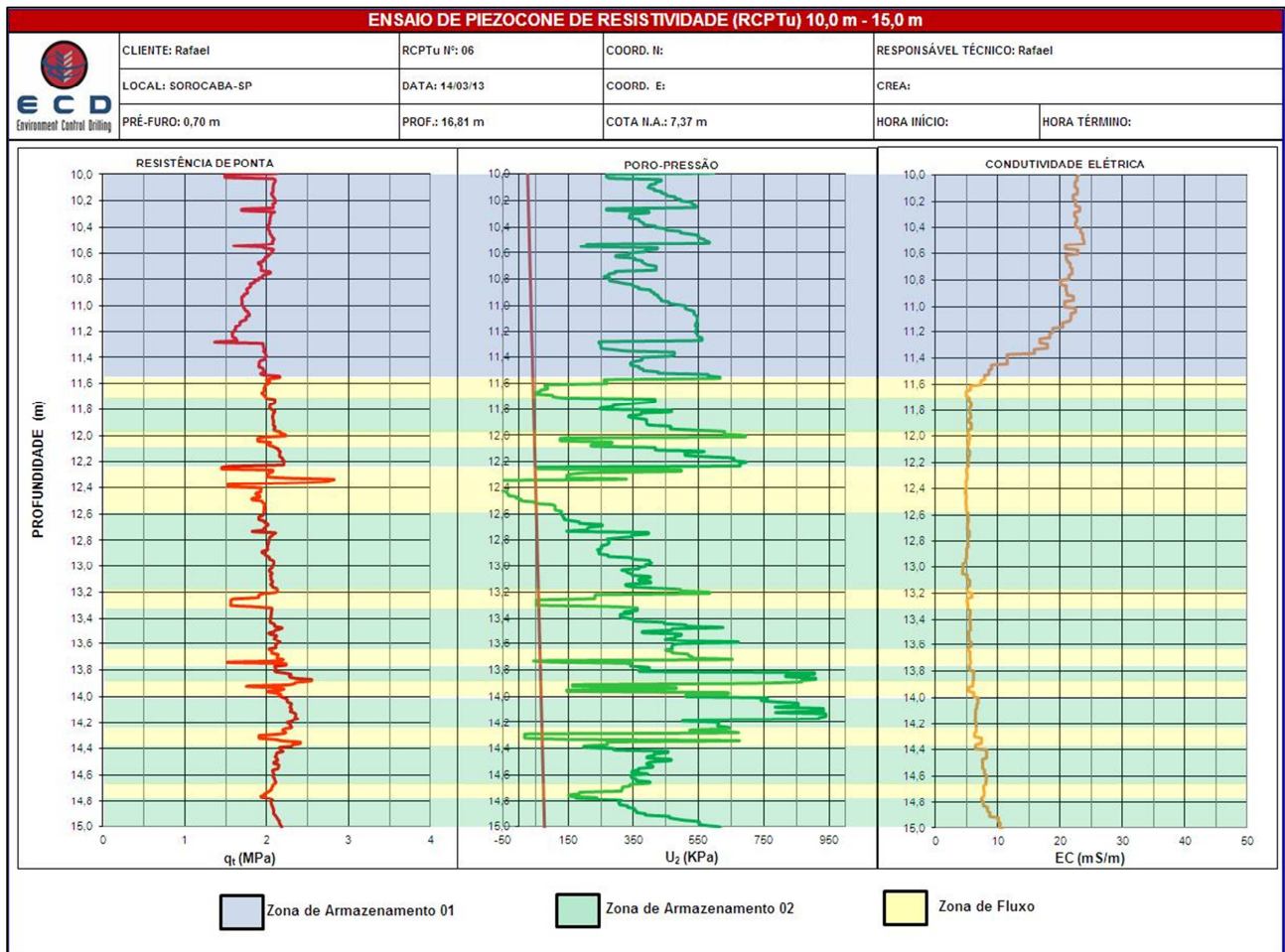


Figura 1 – RCPTu mostrando a identificação das Zonas de Armazenamento e de Fluxo

A poro-pressão apresenta boa correlação com  $k$  [1], sendo inversamente proporcional à mesma. Para solos com grande porcentagem de argila, são constatados maiores valores de poro-pressão e menor  $k$ . Com relação ao parâmetro resistência de ponta ( $q_t$ ), são registrados maiores valores em solos arenosos [5], que possuem maior  $k$ . A condutividade elétrica (EC) do solo geralmente apresenta maiores valores em solos argilosos (menor  $k$ ), devido à propriedade de trocas iônicas [5]. A Figura 1, mostra que foi possível identificar dois níveis de zona de armazenamento, sendo o nível 01 (em azul) mais representativo e intenso, denotado pelo maior valor dos parâmetros de

condutividade elétrica (EC) e poro-pressão (U2). Já a zona de fluxo foi identificada (em amarelo), com valores relativos baixos de EC e U2. Percebeu-se que a investigação detalhada tradicional não levou em conta essas heterogeneidades, por isso o seu MCS seria insuficiente para um adequado projeto de remediação.

### 3 – CONCLUSÕES

- A identificação das heterogeneidades hidrogeológicas é fundamental e influencia diretamente o projeto de remediação. A investigação detalhada, mesmo seguindo os procedimentos da CETESB, é insuficiente para um entendimento completo do meio físico;

- Os ensaios RCPTu funcionaram perfeitamente como ferramenta de alta resolução, pois foi possível obter uma grande quantidade de dados num curto período de tempo, com precisão de centímetros;

- A amostragem de solo através do método *Piston Sampler* foi essencial para uma correta interpretação e associação dos resultados dos ensaios RCPTu na identificação da hidroestratigrafia do local;

- Através dos ensaios RCPTu foi possível identificar as Zonas de Armazenamento e de Fluxo, além de estabelecer um perfil hidroestratigráfico em alta resolução, que vai refinar o MCS e possibilitar a elaboração de um adequado projeto de remediação. O MCS anterior não identificava a variação de  $k$ , prejudicando a tomada de decisão;

### 4 – REFERÊNCIAS

- [1] QUINNAN, J.A.; WELTY, N.R.H.; KILLINBECK, E. 2010. **Hydrostratigraphic and permeability profiling for groundwater remediation projects**. Anais do 2<sup>nd</sup> International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'10), Huntington Beach, CA. Maio/2010.
- [2] PARKER, B.L, CHAPMAN, S.W. e GUILBEAU, M.A.. 2008b. **Plume persistence caused by back diffusion from thin Clay layers in a sand aquifer following TCE source-zone hydraulic isolation**. *Journal of Contaminant Hydrology* 102, 86–104.
- [3] SUTHERSAN, S., DIVINE, C., QUINNAN, J., NICHOLS, E., 2010. **Flux-informed remediation decision making**, *Ground Water Monit. Remediation*, 30 (1), 34-43.
- [4] LUNNE, T., ROBERTSON, P.K. e POWELL, J.. 1997. **Cone Penetration Test** in Geotechnical Practice, London, Blackie Academic Professional. 311 p.
- [5] RIYIS, Marcos Tanaka. **Investigação Geoambiental com Tomada de Decisão em Campo Utilizando o RCPTu como Ferramenta de Alta Resolução**. Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da FEB/UNESP. Bauru-SP. 2012.