

# UTILIZAÇÃO DA SONDA MIP PARA CARACTERIZAÇÃO ESTRATIGRÁFICA DE UMA ÁREA CONTAMINADA

Leandro Gomes de Freitas<sup>1</sup>; Otavio Coaracy Brasil Gandolfo<sup>2</sup>; Nestor Kenji Yoshikawa<sup>3</sup>;  
Alexandre Muselli Barbosa<sup>4</sup>; Daniel Carlos Leite<sup>5</sup>,

**Resumo** – A utilização de sondas de imageamento direto do subsolo tem se mostrado uma técnica inovadora para melhorar o diagnóstico de áreas contaminadas. No presente estudo, os resultados de métodos tradicionais, como sondagens e levantamentos geofísicos, foram comparados com perfis de condutividade elétrica do subsolo obtidos por meio da sonda MIP. Os resultados demonstraram nítidas correlações no mapeamento dos estratos da área de estudo, cujas feições geológicas são caracterizadas por depósitos aluvionares quaternários sobrepostos aos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo. Como os resultados de condutividade elétrica do subsolo podem variar em função de uma série de fatores, destaca-se a importância de integrar diferentes técnicas de investigação para minimizar incertezas e validar modelos conceituais em solos tropicais contaminados.

**Abstract** – The use of direct imaging probes has proven to be an innovative technique to improve the diagnostic of contaminated sites. In this case, the results of traditional methods, such as drilling and geophysics, were compared to electrical conductivity profiles of the subsurface obtained by the MIP probe. The results showed clear correlations to map the subsurface stratum of the study area, which geological characteristics are quaternary alluvial deposits covering the tertiary sediments of the São Paulo Basin formation. As the electrical conductivity of the subsurface may vary depending on a number of factors, it highlights the importance of integrating different investigation techniques to minimize uncertainties and validate conceptual models of contaminated tropical soils.

**Palavras-Chave** – MIP, condutividade elétrica, estratigrafia, modelo conceitual, áreas contaminadas.

---

<sup>1</sup> Eng. Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - SP, (11) 3767-4721, lfreytas@ipt.br;

<sup>2</sup> Geofísico, Dr., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - SP, (11) 3767-4853, gandolfo@ipt.br;

<sup>3</sup> Geólogo, Dr., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - SP, (11) 3767-4750, nestorky@ipt.br;

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Msc., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - SP, (11) 3767-4083, muselli@ipt.br;

<sup>5</sup> Tecnólogo Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - SP, (11) 3767-4649, dcleite@ipt.br;

## 1. INTRODUÇÃO

A problemática das áreas contaminadas é um tema que exige conhecimentos multidisciplinares para o diagnóstico e a recuperação dos passivos ambientais. A consolidação de um modelo conceitual representativo da área requer a combinação de diversos métodos de investigação para a redução das incertezas.

Desde os anos 90, novas sondas de imageamento do subsolo, antes utilizadas apenas para geotecnia, vêm sendo adaptadas para investigações geoambientais, sendo a sonda de resistividade, ou condutividade elétrica, uma das mais importantes (CE) [1]. Diversos autores detalham as vantagens do uso destas ferramentas para obter dados estratigráficos de uma área [1],[2],[3], bem como para fornecer informações sobre zonas preferenciais de fluxo subterrâneo. Ainda segundo este autor [2], quando comparado com os métodos tradicionais, o imageamento direto com o sensor de CE é mais eficiente, mais rápido e de maior resolução, por obter maior densidade de informações por sondagem.

A sonda MIP (*Membrane Interface Probe*), comumente utilizada para detecção de compostos orgânicos voláteis no subsolo, também permite a obtenção de dados em tempo real sobre a litoestratigrafia, por meio do sensor de CE. Neste contexto, o presente trabalho objetiva apresentar a integração dos resultados obtidos por esta sonda com os de outros métodos de investigação para refinar o modelo conceitual de uma área contaminada.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área objeto deste estudo abrigou atividades de tratamento químico de madeiras entre as décadas de 70 e 90. O terreno se localiza na região de várzea do Rio Pinheiros e possui feições geológicas de depósitos quaternários, compostos por camadas de argila, areia e cascalho, com granodecrescência ascendente, sobrepostos por uma camada de aterro argiloso de ~2 m de espessura. Sob os sedimentos aluvionares encontram-se os depósitos terciários da Bacia de São Paulo.

Em 2011, o IPT realizou uma investigação que confirmou a contaminação do solo por hidrocarbonetos utilizados na preservação de madeiras. No fim de 2013 foram executados os levantamentos geofísicos na área. Por meio de seções de caminhamento elétrico, foram mapeadas anomalias resistivas próximas à antiga área fonte da contaminação. Com uma seção elaborada pelo método sísmico, pode se inferir que o aumento da velocidade das ondas em profundidade indicava um aumento de rigidez do material, correlacionado com a camada de areia grossa observada nas sondagens.

Com base nesses resultados, foram locados seis pontos para cravação da sonda MIP para a definição de uma seção representativa da área de ocorrência de anomalias geofísicas eletricamente resistivas. A cravação da ponteira no terreno foi realizada com o auxílio de um equipamento de cravação direta (*direct push*), cuja profundidade máxima de perfuração foi até a condição “impenetrável” do equipamento, por volta de 14 m.

Durante a cravação, a sonda transmite sinais elétricos a cada 1,6 cm para o sistema de aquisição de dados na superfície. As medidas de CE são automaticamente processadas por um software e plotados em um gráfico 2D, gerando os perfis de CE. A integração destes perfis permitiu a elaboração de uma seção representativa do subsolo. Estes perfis foram então sobrepostos com as seções obtidas pelos métodos geofísicos para comparação e integração dos dados sobre a estratigrafia da área.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresentada a seção obtida com a integração dos perfis de CE, juntamente com a respectiva interpretação estratigráfica das camadas do subsolo. Verifica-se que a CE das camadas mais argilosas superficiais, localizadas até 4m de profundidade, variou entre 20 e 50 mS/m. Para as camadas arenosas, localizadas entre 3 e 9 m de profundidade, a CE variou entre 10 e 20 mS/m. Detectou-se ainda a presença de lentes mais argilosas em meio à camada de areia, com CE aproximada de 30 mS/m. Já para a camada inferior, que abrange os depósitos terciários (abaixo dos 9 m), a CE variou de 20 a 120 mS/m. Este estrato também apresentou diversas lentes e camadas argilosas.

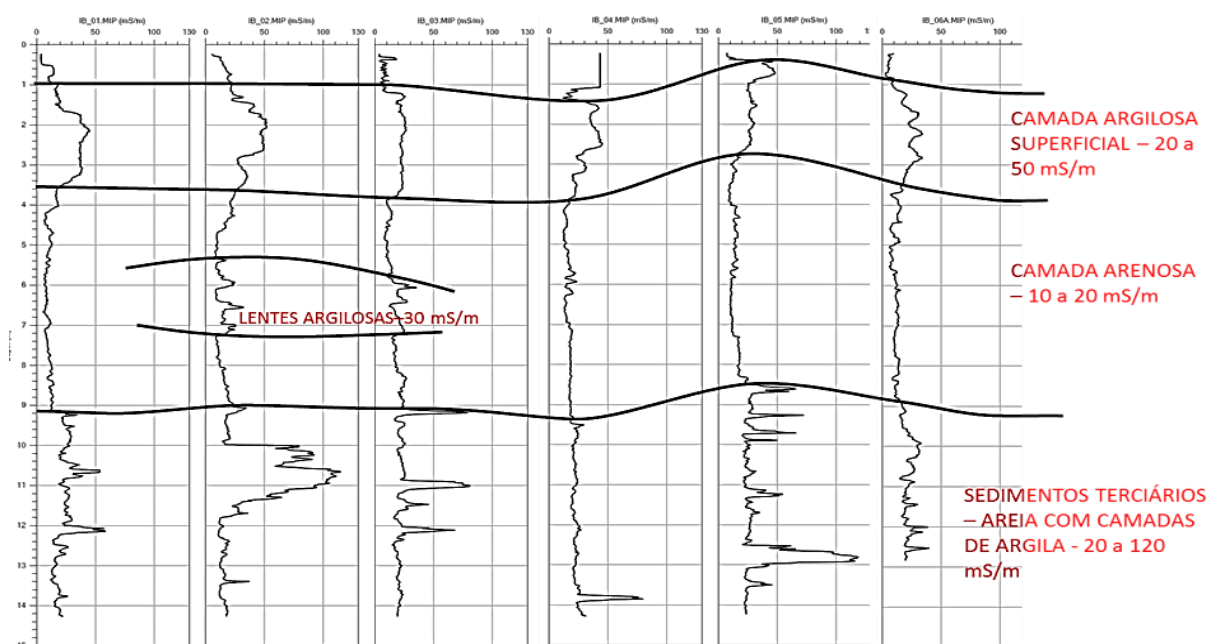


Figura 1. Perfis de CE da sonda MIP com a interpretação da estratigrafia do terreno.

Ao sobrepor os perfis de CE sobre pontos próximos da linha dos ensaios de sísmica, observou-se uma nítida correlação entre os resultados (Figura 2). A presença de materiais menos resistentes no topo da seção sísmica se relaciona às camadas mais argilosas, de maior CE. Uma boa correlação também é observada para a transição entre os sedimentos quaternários e os terciários, marcada pela mudança de materiais menos condutivos e menos rígidos, para materiais de maior rigidez e com picos de CE mais acentuados.

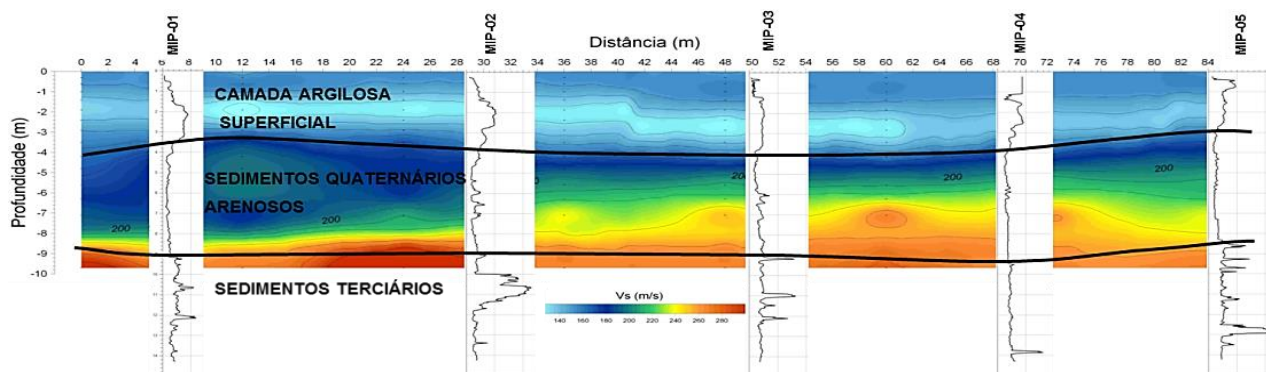


Figura 2. Sobreposição dos perfis de CE da sonda MIP sobre a seção sísmica.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da integração dos dados das técnicas de geofísica e MIP foi possível refinar o modelo conceitual da estratigrafia da área de estudo. Deve-se ressaltar, porém, que a CE do subsolo pode variar em função de vários fatores, tais como: teor de umidade, porosidade, presença e concentração de contaminantes, níveis de argila e mineralogia dos materiais [3]. Neste contexto, nota-se a importância de se integrar diversas técnicas de investigação para melhorar a interpretação dos dados, principalmente ao se tratar de solos tropicais contaminados.

#### REFERÊNCIAS

- [1] RIYIS, M.T. (2012). *Investigação geoambiental com tomada de decisão em campo utilizando o piezocone de resistividade como ferramenta de alta resolução*. Dissertação de Mestrado, FEB-UNESP. Bauru-SP. 2012. 173 p.
- [2] SCHULMEISTER, M.K.; BUTLER JR, J.J.; HEALEY, J.M.; ZHENG, L.; WISOCKY, D.A.; McCALL, G.W. *Direct-Push Electrical Conductivity Logging for High-Resolution Hydrostratigraphic Characterization*. Ground Water Monitoring & Remediation 23, nº 3: 52–62. 2003.
- [3] MONDELLI, G. (2008). *Integração de diferentes técnicas de investigação para avaliação da poluição e contaminação de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos*. Tese de Doutorado, EESC-USP. São Carlos-SP, 2008. 362 p.