



## Investigações GPR para localizar cabos elétricos e diagnosticar eventuais plumas de contaminação ambiental em ETDs de Energia Elétrica

Emerson Rodrigo Almeida\*<sup>1</sup> & Jorge Luís Porsani<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – USP.

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

Investigações GPR 2D-3D de 200MHz e 400MHz foram realizadas sobre a linha 7 do Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR) do IAG/USP e em Estações de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica (ETDs) de Bonsucesso (Itaquaquecetuba) e Boiçucanga, ambas no Estado de São Paulo. No SCGR o objetivo foi calibrar o equipamento GPR sobre cabos elétricos e condutas de PVC numa situação controlada de campo. Nas ETDs os levantamentos visaram a localização de possíveis zonas de contaminação por vazamento de óleo dos transformadores e a detecção de cabeamento elétrico no subsolo. Os resultados obtidos com a antena de 400MHz mostraram zonas com ausência de reflexão na ETD de Bonsucesso evidenciando uma possível contaminação; entretanto, estas anomalias podem refletir as variações na litologia devido à predominância de material mais argiloso em subsuperfície. Para minimizar esta ambigüidade foi sugerida a perfuração de furos de sondagem para análise do material. A detecção dos cabos elétricos no subsolo do SCGR e nas ETDs de Bonsucesso e Boiçucanga foi melhor definida com a antena de 200MHz. Os resultados GPR em ambiente de elevado ruído eletromagnético (i.e., nas ETDs) foram animadores.

### Introdução

O monitoramento ambiental das ETDs é uma prática recente e é uma exigência da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para prevenir e remediar acidentes que venham a causar a contaminação do subsolo. No Estado de São Paulo existem cerca de 60 ETDs, cujos transformadores contêm um óleo resistor conhecido como óleo linear alquilbenzeno ou óleo dodecilbenzeno, sendo uma fonte potencial de contaminação. Este mesmo óleo também é utilizado em cabos elétricos de alta tensão e é composto por uma mistura de derivados de hidrocarbonetos e óleos minerais com alto potencial de contaminação (Oliveira, 2008). Os vazamentos podem ser provocados durante o processo de troca do óleo dos transformadores ou por más condições dos mesmos, causando o gotejamento do óleo. Há ainda a necessidade de se conhecer a localização dos cabos

elétricos e malhas de aterramento presentes no subsolo, para fins de manutenção periódica.

Muitos trabalhos têm sido feitos no estudo de plumas de contaminação através do método GPR (Sauck, 2000; Knight, 2001; Castro & Branco, 2003; Cassidy, 2007; Oliveira, 2008), porém o emprego do método para esta finalidade em ETDs é uma área ainda inexplorada. Estudos realizados em diferentes áreas mostram que há variação na amplitude das reflexões atribuídas à contaminação, dependendo do tempo em que a pluma está presente no subsolo.

Dentre estes estudos pode-se destacar o trabalho feito por Sauck (2000), onde o autor mostra que o ambiente biodegradante em que se encontra uma pluma de contaminação pode sofrer alterações em suas propriedades elétricas, tornando-se mais condutivo com o passar do tempo. Deste modo, contaminações recentes apresentam-se como anomalias de alta amplitude de reflexão (*brightspots*) e contaminações antigas apresentam-se como anomalias de baixa amplitude de reflexão (zonas de sombra).

### Aspectos Teóricos do Método GPR

O método GPR consiste em obter uma imagem de alta resolução da subsuperfície através da emissão de ondas eletromagnéticas em altas frequências (tipicamente de 10MHz a 2,5GHz) por uma antena transmissora colocada na superfície. Os sinais são enviados ao solo, e ao encontrarem diferenças entre as propriedades elétricas dos materiais uma parte da energia enviada é refletida de volta à superfície.

A propagação das ondas eletromagnéticas está fundamentada nas equações de Maxwell (Griffiths, 1999). A velocidade de propagação das ondas em um meio material é dada pela equação 1 (Daniels, 1996).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz e  $\epsilon_r$  é a permissividade dielétrica relativa do meio.

A atenuação do sinal é dada pela constante de atenuação ( $\alpha$ ), conforme mostrado na equação 2 (Porsani, 1999).

$$\alpha = 1,636 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Onde  $\sigma$  é a condutividade do material em corrente contínua.

A amplitude da onda refletida devido às diferenças de propriedades elétricas entre dois meios 1 e 2 é dada pelo coeficiente de reflexão, mostrado na equação 3 (Porsani, 1999).

$$r = \frac{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\epsilon_1} - \sqrt{\sigma_2 + i\omega\epsilon_2}}{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\epsilon_1} + \sqrt{\sigma_2 + i\omega\epsilon_2}} \quad (3)$$

Onde  $\omega$  é a frequência angular da onda e  $i$  indica que a equação é na forma complexa.

**Aquisição dos dados GPR**

*SCGR do IAG/USP*

O SCGR do IAG/USP consiste em uma área de 30m x 50m situada em frente ao prédio do IAG, no terreno do Instituto de Física (IF) no campus da USP em São Paulo. Segundo Porsani *et al.* (2004) a geologia local é caracterizada por argila arenosa a siltosa, com alguns níveis intercalados de silte, ora argiloso ora arenoso, com espessura inferior a 3 metros. Dados de três poços perfurados na área de estudo mostram uma espessura máxima de sedimentos de 53 metros. Nesta área foram enterrados diversos tipos de objetos com a finalidade de se estudar a resposta destes frente a diferentes métodos de investigação geofísica. Detalhes a respeito da implementação do SCGR e alguns resultados geofísicos podem ser encontrados em Porsani *et al.* 2006, Borges, 2007, Porsani & Sauck, 2007.

No SCGR foram adquiridos 21 perfis de reflexão com afastamento constante sobre a linha onde estão instalados os cabos elétricos e conduites de PVC, utilizando-se as antenas blindadas de 200MHz e 400MHz.

*ETD de Bonsucesso (Itaquaquetuba)*

A ETD de Bonsucesso localiza-se no município de Itaquaquetuba, na região da Grande São Paulo. Segundo Motta (2006), a geologia na área de estudos é composta por rochas sedimentares terciárias da Formação São Paulo, caracterizada por sedimentos fluviais que se encerram em argilas, areias e cascalhos. Esta ETD está em operação desde setembro de 1958. Nesta área foram adquiridos 15 perfis de reflexão com afastamento constante utilizando-se as antenas blindadas de 200MHz e 400MHz.

*ETD de Boiçucanga*

A ETD de Boiçucanga localiza-se no município de Boiçucanga, no litoral paulista. Segundo Bachion (2006) a geologia local é composta por areias quartzosas e sedimentos argilosos. Esta ETD está em operação desde maio de 1989 e não há indícios de vazamento de óleo

dos transformadores. Foram adquiridos 21 perfis de reflexão com afastamento constante utilizando as antenas blindadas de 200MHz e 400MHz.

**Processamento dos dados GPR**

As principais etapas usadas no processamento dos dados foram: correção para o tempo zero, ganho em função do tempo, filtragem passa banda para eliminar ruídos de baixa e altas frequências, remoção do background e conversão da escala de tempo para profundidade. A velocidade das ondas eletromagnéticas foi obtida por meio do ajuste de hipérbolas de difração causadas por alvos pontuais.

**Interpretação dos resultados**

A Figura 1 mostra o bloco 3D obtido sobre os cabos elétricos na área do SCGR do IAG com a antena de 200MHz. Notam-se quatro refletores contínuos, que representam os cabos elétricos à profundidade de 0,5 metro.

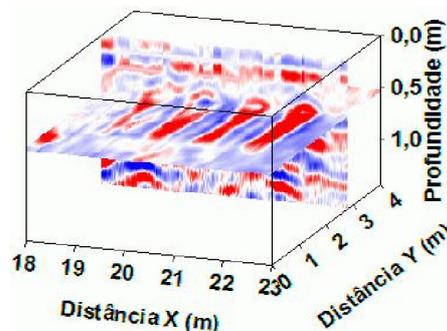


Figura 1 – Dados 3D obtidos sobre o SCGR do IAG/USP com a antena de 200MHz.

Os dados mostram que o método GPR apresenta bons resultados quando empregado na detecção de cabos elétricos em ambientes com baixo nível de ruído eletromagnético. Os alvos foram demarcados com maior clareza nos dados obtidos com a antena de 200MHz.

A Figura 2 mostra um perfil GPR de 400MHz para a ETD de Bonsucesso. A partir de 17 metros observa-se uma redução repentina na amplitude das reflexões para profundidades menores do que 1,5 metro. Esta zona anômala, onde a reflexão é fortemente atenuada, indica locais com suspeitas de contaminação. Por ser extensa, esta zona pode indicar uma contaminação por derramamento de óleo ou a presença de material argiloso no subsolo. Nesta região anômala foi sugerida a perfuração de furos de sondagem para análise química do material. Também foram identificados dois alvos pontuais sob as posições de 9 e 26 metros, podendo estar relacionados com cabos elétricos ou tubulações no subsolo.

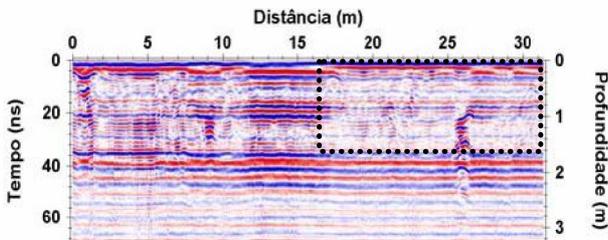


Figura 2 – Perfil GPR obtido com a antena de 400MHz próximo aos transformadores da ETD de Bonsucesso.

A Figura 3 mostra um perfil de 200MHz obtido na ETD de Bonsucesso com a identificação de alvos pontuais. Notam-se nítidas anomalias hiperbólicas de alta amplitude de reflexão, evidenciando a existência de cabos elétricos ou tubulações no subsolo. O mapeamento dos cabos elétricos com o GPR apresentou resultados muito bons nesta ETD, sobretudo com a antena de 200MHz.

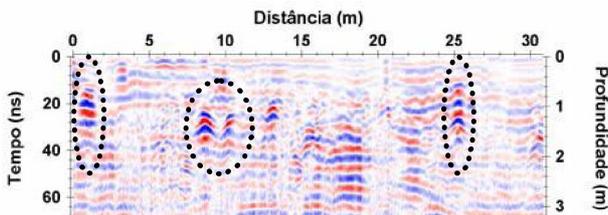


Figura 3 – Perfil GPR obtido com a antena de 200MHz próximo a um transformador da ETD de Bonsucesso.

A Figura 4 mostra um perfil GPR de 400MHz na ETD de Boiçucanga. Há ocorrência de reflexões de alta amplitude, porém estas se encontram relacionadas às placas de concreto que sustentam os transformadores.

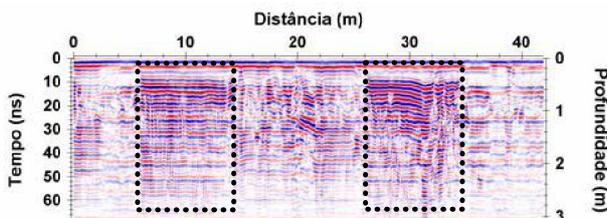


Figura 4 – Perfil GPR obtido com a antena de 400MHz próximo aos transformadores da ETD de Boiçucanga.

O mapeamento dos cabos elétricos nesta estação apresentou resultados satisfatórios, como mostra o perfil GPR de 200MHz da Figura 5. As anomalias hiperbólicas devem-se a pontos onde há passagem de cabos elétricos ou tubulações.

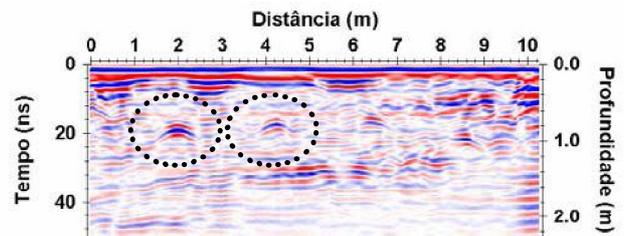


Figura 5 – Perfil GPR obtido com a antena de 200MHz próximo a um dos transformadores da ETD de Boiçucanga.

### Conclusões preliminares

Verificou-se que o método GPR apresenta resultados satisfatórios quando empregado na localização de cabos elétricos em ambientes com ocorrência de altas tensões provenientes da rede elétrica de ETD de energia elétrica. Embora tenham ocorrido casos em que o nível de ruído apresentou-se anormalmente elevado a interpretação dos dados não foi prejudicada.

O método também apresentou resultados encorajadores no que diz respeito à localização de anomalias provocadas por possíveis contaminações por óleo proveniente dos transformadores. Não foi possível encontrar zonas anômalas com reflexão de alta amplitude causadas por contaminação recente, possivelmente devido à pequena quantidade de óleo presente no solo ou pela falta de contraste entre as propriedades físicas do contaminante e as do background. Contudo foram encontradas zonas de sombra que resultaram em interpretações ambíguas quanto à natureza da baixa resistividade, a qual pode ser causada por óleo biodegradado presente no solo ou por aspectos locais da geologia, onde é possível que haja a ocorrência de material argiloso. Esta ambigüidade pode ser resolvida com base em análise de testemunhos por meio de furos de sondagem, o que será feito posteriormente.

### Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de IC durante o desenvolvimento desta pesquisa. À Bandeirante Energia S. A. pelo auxílio logístico. A David Nakamura Leite, Ernande da Costa Santos, José Fernando Caparica Jr., Rubens Teixeira Machado e Vinicius Rafael Neri dos Santos pelo apoio durante a aquisição e processamento dos dados.

### Referências

- Bachion, M. L., 2006. Relatório Ambiental Fase I – ETD Boiçucanga (São Sebastião – SP). Relatório de Impactos Ambientais. Essencis Remediação S. A., São Paulo, Brasil.
- Borges, W. R., 2007. Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações em planejamento urbano e meio ambiente: estudo controlado sobre o Sítio Controlado do

IAG/USP. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Paulo.

Cassidy, N. J., 2007. Evaluating LNAPL contamination using GPR signal attenuation analysis and dielectric property measurements: Practical implications for hydrological studies. *Journal of Contaminant Hydrology*.

Castro, D. L. de; Branco, R. M. G. C., 2003. 4D ground penetrating radar monitoring of a hydrocarbon leakage in Fortaleza (Brazil) during its remediation process: a case history. *Journal of Applied Geophysics* 54, 127 – 144.

Daniels, D. J., 1996. *Surface Penetrating Radar*. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom.

Griffiths, D. J., 1999. *Introduction to Electrodynamics* (Third Edition). Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey.

Motta, P. de S., 2006. Relatório Ambiental Fase I – ETD Bonsucesso (Itaquaquecetuba – SP). Relatório de Impactos Ambientais. Essencis Remediação S. A., São Paulo, Brasil.

Knight, R., 2001. Ground Penetrating Radar for Environmental Applications. *Annu. Rev. Earth Planet.* 29:229-55.

Oliveira, M. G, 2008. O uso do método GPR para mapear interferências no subsolo urbano e diagnosticar a contaminação ambiental de vazamentos de óleo em cabos elétricos subterrâneos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Paulo.

Porsani, J. L., 1999. Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta Metodológica de emprego em estudos geológicos – geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), Campus de Rio Claro.

Porsani, J.L., Borges, W.R., Elis, V.R., Diogo, L.A., Hiodo, F.Y., Marrano, A. & Birelli, C.A., 2004. Investigações Geofísicas de Superfície e de Poço no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP. *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(3): 245–258.

Porsani, J. L.; Borges, W. R.; Rodrigues, S. I.; Hiodo, F. Y., 2006. O Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP: Instalação e Resultados GPR 2D-3D. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.24, p.49-61.

Porsani, J.L.; Sauck, W.A., 2007. Ground-penetrating radar profiles over multiple steel tanks: Artifact removal through effective data processing. *Geophysics*, v.72, p.J77 - J83.

Sauck, W. A., 2000. A model for resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *Journal of Applied Geophysics* 44, 151-165.