



## Localização de Manilhas de Concreto Instaladas no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP Através de Multi-Configurações das Antenas GPR: Resultados Preliminares

Robson Santos Lima <sup>1,\*</sup> & Jorge Luís Porsani <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pós-Graduação em Geofísica (IAG-USP). Tel.: (11) 3091 4753. E-mail: [robson@iag.usp.br](mailto:robson@iag.usp.br)

<sup>2</sup> Departamento de Geofísica (IAG-USP). Tel.: (11) 3091 4734. Fax.: (11) 3091 5034. E-mail: [porsani@iag.usp.br](mailto:porsani@iag.usp.br)

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

This article shows the preliminary results of multi-configurations GPR antennas in order to locate concrete tubes installed in the Shallow Geophysical Test Site or *Sítio Controlado de Geofísica Rasa-SCGR* of IAG/USP. Four arrays of antennas were used: TE mode (Transversal Electric), TM mode (Transversal Magnetic), and the TE and TM Cross-Polarizations, according to definitions of Radzevicius & Daniels (2000). The results showed that the TE mode was excellent to detect concrete tubes that presented clear reflections, followed by TM mode. For the identification of metallic guide pipe with 3.8 cm diameter, that cross all SCGR lines, the TM mode presented the best results. No significant result was evidenced by cross-polarizations mode. New surveys will be carried in the same area with the 200 MHz antennas to complement the information about detection, resolution and penetration.

Keywords: SCGR-IAG, Geophysical Test Site, GPR, multi-configurations of antennas, polarization.

### Introdução

O crescente aumento populacional nos grandes centros urbanos tem provocado uma intensa ocupação do espaço, tanto em superfície quanto em subsuperfície. Para suprir a falta de espaço, obras subterrâneas são realizadas diariamente, tais como, o avanço de túneis do metrô, construções de garagens subterrâneas, passagens de cabos elétricos e telefônicos, tubulações de gás, galerias de canalização de águas pluviais, redes de esgotos, etc. Devido a esse crescimento desordenado, vários problemas são gerados, dentre eles destacam-se, o rompimento de tubulações de gás, água, esgotos, cabos de telefonia, dentre outros, provocando prejuízos irreparáveis à população.

Como é do conhecimento dos geocientistas, as investigações geofísicas podem auxiliar na melhoria do planejamento urbano e na remediação de problemas, pois são adequadas para a localização de interferências no subsolo. As principais vantagens são: o baixo custo de operação e a rapidez nos levantamentos de campo (Reynolds, 1997). Entretanto, o grande desafio para os

geofísicos deste século, consiste na aplicação de métodos não destrutivos em áreas urbanas, devido às edificações e aos altos níveis de ruídos presentes nesses meios, tais como, as interferências das ondas eletromagnéticas (i.e, telefonia celular, rádios, etc.), que dificultam sensivelmente a interpretação dos resultados.

Para diminuir as ambigüidades presentes na interpretação de dados geofísicos em ambiente urbano, foi instalado dentro do campus da Universidade de São Paulo – USP o “Sítio Controlado de Geofísica Rasa” – SCGR do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG (Porsani et al., 2005). Vários alvos foram instalados ao longo de sete linhas visando simular problemas geotécnicos, ambientais e arqueológicos. Neste artigo, o enfoque será dado aos alvos geotécnicos, em particular, a linha caracterizada por manilhas de concreto.

O SCGR-IAG está situado na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo (Figura 1). Geologicamente, a área é composta por um aterro, caracterizado por argila arenosa a siltosa, com espessura inferior a 3 m. Uma cobertura neocenozóica é observada até 6 m de profundidade, sendo evidenciada por argilas enriquecidas em matéria orgânica. A partir daí, predominam 53 m de sedimentos areno-argilosos (formações Resende e São Paulo), sobrepostos ao embasamento granito-gnáissico (Porsani et al., 2004).

No ambiente urbano, os alvos encontrados em subsuperfície na forma cilíndrica, por exemplo, as manilhas de concreto, representam um importante objeto de estudo para a geofísica, uma vez que, são utilizadas em diferentes aplicações, tais como: galerias de canalização de águas pluviais, redes de esgotos, etc.

Neste trabalho, o método GPR foi utilizado sobre a linha de manilhas de concreto instaladas no SCGR do IAG/USP, visando melhorar a qualidade da imagem e determinar as interferências das manilhas, diminuindo assim, as ambigüidades na interpretação dos dados. Para tanto, diferentes arranjos de antenas foram empregados e analisados, e os resultados preliminares são apresentados neste artigo.

### Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos foi utilizado o método GPR-*Ground Penetrating Radar*, que se baseia na propagação de ondas eletromagnéticas em altas frequências obtendo uma imagem de alta resolução, dos objetos ou interfaces geológicas em subsuperfície. Informações específicas sobre esta metodologia podem

ser encontradas na literatura (Daniels, 1996; Porsani, 1999), dentre outras.

A linha estudada tem 30 metros de comprimento, possui 11 manilhas de concreto de dois metros de comprimento, com diâmetros externos de 26, 48 e 70 cm, sendo enterradas em profundidades que variam de 0,5 a 2 m em relação ao topo do objeto (Figura 2). As manilhas A, B e C são construídas com malha de ferro em suas estruturas, e as outras manilhas foram construídas apenas com cimento, podendo ser consideradas dielétricas. As manilhas estão dispostas na horizontal (E-W) e ortogonais à direção do levantamento. A manilha C posicionada em 9 m está disposta na vertical. Na posição 15 m encontra-se um cano metálico guia de 3,8 cm de diâmetro que cruza todas as linhas do SCGR.

### Aquisição e processamento de dados

Os equipamentos disponíveis no mercado, tais como, (Ramac, Gssi, Sensors & Software, etc.) disponibilizam aos usuários várias possibilidades de arranjos de antenas para a aquisição de dados GPR. No entanto, cabe ao usuário determinar qual o arranjo de antenas e quais os parâmetros do levantamento são adequados para o objetivo pretendido.

Para a determinação das técnicas otimizadas de aquisição de perfis de reflexão, o estudo foi focado principalmente no fenômeno de espalhamento de energia (polarização) por um alvo de geometria cilíndrica, no caso, as manilhas de concreto. A escolha da frequência das antenas foi estabelecida mediante as características apresentadas no local durante o período dos levantamentos, tais como: a) profundidade das manilhas, b) alta condutividade elétrica do aterro (Borges et al., 2004) e c) os dados foram adquiridos após quatro dias de chuvas. Os itens b e c implicam diretamente na atenuação do sinal do GPR, devido ao aumento na condutividade elétrica, desta forma optou-se por usar as antenas de 100 MHz para garantir uma penetração suficiente para detectar os alvos.

Os dados foram adquiridos com o equipamento sueco Ramac, utilizando as antenas de 100 MHz não blindadas. Para a aquisição dos dados foi utilizada a técnica de perfil de reflexão com afastamento constante, i.e., "common offset", no modo passo a passo, visando obter o melhor imageamento dos objetos em subsuperfície. Cada traço do radar está separado de 0,2 m, totalizando 150 traços distribuídos ao longo de um perfil de 30 m de comprimento, sempre iniciados no mesmo ponto, indo do Sul para o Norte (Figura 1). O empilhamento dos traços ou "stack" utilizado em todos os perfis foi de 512, pois um valor elevado melhora a capacidade de detalhamento da subsuperfície, devido à melhor razão sinal/ruído (Versteeg, 1996).

Segundo o trabalho clássico de Annan (1992), existem diversos arranjos de antenas, tais como: modo TE (Transversal Elétrico), modo TM (Transversal Magnético), polarização cruzada TE e a polarização cruzada TM. O padrão de radiação no modo TE apresenta a maior área de iluminação, ou seja, a maior área de pegada, seguido pelo modo TM. Os modos TE e TM foram definidos em função do posicionamento das antenas transmissora e

receptora, em relação à direção do levantamento. Caso as antenas estejam ambas perpendiculares ao caminhamento no perfil, é dito arranjo TE, caso estejam ambas paralelas ao caminhamento no perfil, é dito TM.

Por outro lado, segundo trabalhos específicos sobre polarizações de sinais (Radzevicius and Daniels, 2000; Radzevicius et al., 2000; Radzevicius, 2001), para o imageamento de alvos cilíndricos em subsuperfície, os arranjos das antenas não bastam serem classificados relacionando apenas a disposição das antenas com relação à direção do levantamento, é necessário também considerar a disposição dos dipolos das antenas com relação à orientação do eixo do alvo em subsuperfície, que em no nosso caso, são cilindros de cimento. Portanto, neste artigo as configurações das antenas TE e TM foram tratadas segundo os artigos citados acima. Segundo esses autores, para o arranjo denominado de modo TE, ambos os dipolos das antenas (i.e., maior comprimento das antenas) devem estar ortogonais ao eixo do cilindro em subsuperfície e paralelos à direção do levantamento. Por outro lado, para o modo TM, os dipolos das antenas, devem estar paralelos ao eixo do cilindro em subsuperfície e ortogonais à direção do levantamento. A Figura 3 mostra um desenho esquemático dos arranjos das antenas que foram usados neste artigo. Note que, a definição para o modo TE usada aqui corresponde ao modo TM de Annan (1992).

Após a aquisição dos perfis GPR, eles foram processados utilizando o software Radan (GSSI). As principais etapas utilizadas no processamento dos dados foram: i) Correção do *drift* (foi utilizado o software Gradix); ii) Ajuste da onda aérea; iii) Filtragem temporal do tipo passa banda, para realçar os refletores; iv) Ganhos no tempo (linear, constante, esférico e exponencial), os ganhos servem para compensar as perdas por atenuação e espalhamento esférico do sinal; v) Remoção do *background*; e vi) Conversão tempo/profundidade. Para converter os perfis de tempo para profundidade foi utilizada a velocidade de 0,067 m/ns, obtida com base na expressão ( $v = 2h/t$ ). A medida do tempo duplo (t) foi feita diretamente no radargrama e a profundidade (h) corresponde ao topo verdadeiro do alvo instalado no SCGR-IAG.

### Resultados preliminares

A Figura 4 mostra os resultados, obtidos para quatro diferentes arranjos de antenas. A Figura 4a mostra o perfil obtido através do arranjo TM. Nesta figura são identificados refletores hiperbólicos, correspondentes aos topos das manilhas A, B, C, D, F, G, J, K e L, bem como o refletor hiperbólico E, correspondente ao topo do cano metálico guia que cruza todas as linhas do SCGR.

A reflexão da onda eletromagnética nos alvos A, B e C é reforçada pelo fato das manilhas possuírem malhas de ferro em suas estruturas. Assim, pelo fato da componente magnética do sinal emitido estar ortogonal à direção do maior comprimento do cano metálico guia, é gerado sobre esse condutor um novo campo elétrico e este é somado à componente elétrica do sinal refletido pela superfície do cano, aumentando a intensidade da componente elétrica total que retorna à antena receptora.

Outro fator importante é que a perda por espalhamento no alvo é pequena, devido ao diâmetro da manilha (0,70 m) estar próximo do comprimento de onda (0,67 m) observado no topo das manilhas (Radzevicius and Daniels, 2000).

A identificação do cano metálico guia (alvo E) está de acordo com os resultados obtidos por (Roberts and Daniels, 1996; Radzevicius and Daniels, 2000; Radzevicius, 2001 e Annan et al., 2002). Segundo estes autores, canos metálicos são detectados pelo levantamento realizado com antenas no modo TM pelas mesmas razões explicadas anteriormente para as manilhas A, B e C. Entretanto, a amplitude do refletor observado não é muito forte, devido o seu pequeno diâmetro que gera uma grande perda de sinal por espalhamento no alvo. Assim, grande parte das ondas refletidas se propagam em ângulos maiores do que aqueles que a zona de Fresnel é capaz de iluminar.

As manilhas D, F, G, J, K e L, embora não apresentem malhas de ferro em suas estruturas, também foram detectadas. Para os alvos D, K e L, a reflexão é nítida e está relacionada principalmente com a pequena profundidade em que os alvos estão instalados (< 1 m), e para os alvos F, G (com diâmetros de 48 cm) e J (com diâmetros de 26 cm), embora as reflexões não sejam nítidas, elas ocorrem devido às pequenas perdas por espalhamento do sinal nas manilhas.

Pelo fato dos alvos serem dielétricos, praticamente não ocorre o fenômeno de polarização nas manilhas. A interação da onda eletromagnética com o alvo ocorre de maneira diferente daquela apresentada para as manilhas A, B e C com malha de ferro e para o alvo metálico.

Quando a frente de onda incide sobre a superfície da manilha a componente magnética praticamente não gera efeitos sobre o alvo, uma vez que, em sua superfície praticamente não existem elétrons livres. Por outro lado, a componente do campo elétrico ao entrar em contato com o alvo produz ligeiros deslocamentos nas posições de equilíbrio das cargas positivas e negativas, gerando durante a interação, momentos dipolares elétricos induzidos, os quais geram campos elétricos que possuem mesma direção do campo elétrico externo, porém sentidos opostos (Halliday & Resnick, 1973). Portanto, na superfície do alvo, o campo elétrico resultante possui a mesma direção e sentido do campo elétrico externo, mas com menor intensidade. Essa onda eletromagnética refletida chega até a antena receptora com o campo elétrico bastante reduzido, gerando sinais muito fracos, imperceptíveis no radargrama. A atenuação é ainda acentuada pelo fato do terreno ser bastante condutivo e as manilhas estarem relativamente profundas (variando de 1 a 2 m de profundidade).

Os dois refletores identificados por setas correspondem aos vazios, causados pela má compactação do solo, conforme comprovado por investigações realizadas por sondagens a trado.

A Figura 4b mostra o perfil obtido com o arranjo TE. Nesta figura, observa-se que as manilhas foram identificadas por refletores hiperbólicos mais nítidos. Note que o refletor C apresenta um padrão de reflexão diferente daquele observado no modo TM, aproximando-

se mais fielmente da forma real do alvo, uma vez que esta manilha está colocada na posição vertical (Figura 2). Além disso, as manilhas G, H e L foram detectadas com mais nitidez que as observadas na Figura 4a. Por outro lado, as manilhas I, J e K não foram detectadas. Este fato pode estar relacionado com o próprio processamento dos dados, mas será investigado nas próximas etapas desta pesquisa.

Para a nossa surpresa, o cano metálico guia (alvo E) não foi detectado, e será alvo das próximas etapas desta pesquisa. Este fato pode estar relacionado principalmente com a elevada perda do sinal por espalhamento no alvo, devido ao seu pequeno diâmetro (Radzevicius and Daniels, 2000). Além disso, o cano metálico foi fracamente polarizado quando comparado com o modo TM, provavelmente devido o campo elétrico externo ter sido aplicado a 90° de seu eixo maior. Este resultado mostrou que a polarização ideal para a detecção desse tipo de alvo é aquela que emprega o campo elétrico paralelo ao maior comprimento do cano.

A Figura 4c mostra o perfil obtido através do arranjo polarização cruzada TE. Observa-se que os topos das manilhas A, B e C foram identificados através de refletores nítidos, e a manilha L e o cano metálico E são caracterizados por fracos refletores. O resultado do perfil utilizando o arranjo da polarização cruzada TM está mostrado na Figura 4d. Com este arranjo, observam-se refletores fracos e com a polaridade invertida. Os refletores fracos são referentes às manilhas A, B, C e L, e o cano metálico E.

Para os perfis obtidos através dos arranjos de polarizações cruzadas TE e TM não foram registrados eventos significativos, além dos já mostrados pelos outros arranjos. Por outro lado, segundo Radzevicius and Daniels (2000), Radzevicius et al., (2000) e Radzevicius (2001), os levantamentos realizados com estes modos formando um ângulo de 45° em relação à direção do levantamento, são úteis para reduzir o “clutter” (i.e., chuva nos perfis) decorrente da aquisição dos dados. Esta vantagem da utilização das polarizações cruzadas não foi percebida neste trabalho.

A análise destes resultados, embora preliminar, permitiu extrair algumas informações importantes sobre a sensibilidade de detecção de alvos cilíndricos, na qual depende dos seguintes fatores:

- i) Conhecimento prévio da disposição dos alvos. Este fato permite arranjar as antenas transmissora e receptora, de modo a obter uma melhor combinação entre a polarização da onda refletida e a polarização da antena receptora, o que favorece a recepção de um sinal com maior banda de espalhamento.
- ii) Diâmetro do alvo. Quanto menor o diâmetro do alvo a ser estudado menor será a possibilidade de detectá-lo, uma vez que o fenômeno de perda por espalhamento é maior em alvos de pequeno diâmetro (Radzevicius and Daniels, 2000).
- iii) Profundidade do alvo. Alvos mais profundos são mais difíceis de serem detectados, devido à atenuação do sinal eletromagnético no meio.

iv) Composição do alvo. Alvos cilíndricos, de material dielétrico e condutor, se comportam de maneiras diferentes durante a interação com o campo eletromagnético, gerando menor e maior efeito de polarização, respectivamente.

v) *Background* do terreno. A composição do material em que o alvo está inserido influi diretamente na sua detecção, pois contribui com o maior ou menor contraste de impedância.

Os resultados preliminares apresentados mostraram que os efeitos das polarizações são bastante complexos, e para uma melhor compreensão dos fenômenos eletromagnéticos que ocorrem sobre os alvos, mais estudos serão necessários.

### Conclusões preliminares e recomendações

O modo TE (arranjo segundo Radzevicius) mostrou-se mais eficiente do que o TM, pois as manilhas foram identificadas através de refletores hiperbólicos mais nítidos. Isto ocorre porque com o modo TE há uma melhor combinação entre os fatores que regem a detecção das manilhas.

Para a detecção do cano metálico guia, o arranjo TM mostrou-se melhor que o arranjo TE, devido à polarização do cano metálico que está disposto paralelo aos dipolos elétricos ao longo do maior comprimento das antenas.

Para complementar as informações, novas aquisições com antenas de 200 MHz serão necessárias, visando à detecção dos alvos com maior resolução.

Segundo Radzevicius (2001), as polarizações cruzadas TE e TM servem para reduzir “clutter”, mas não foi verificado neste artigo, necessitando assim, de mais estudos.

Para a realização de uma investigação com GPR onde é conhecida a disposição dos alvos (no caso, as manilhas de concreto), é recomendável utilizar o arranjo TE cujo campo elétrico seja ortogonal ao maior eixo do objeto estudado. Por outro lado, para a detecção de canos metálicos, cuja disposição também seja conhecida, o arranjo mais indicado é o TM onde o campo elétrico seja paralelo ao maior eixo do cano.

Para levantamentos em áreas onde não há conhecimento prévio da disposição dos objetos, ou para fins geológicos, é aconselhável utilizar o arranjo de antenas no modo TE (segundo Annan, 1992), devido a maior área de iluminação das antenas.

### Referências

- Annan, A.P., 1992.** Ground Penetration Radar. Workshop notes. Sensors & Software, Inc. Internal Report, 130p.
- Annan, A.P., Cosway, S.W. and De Sousa, T., 2002.** Application of GPR to map concrete to delineate embedded structural elements & defects. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Ground Penetrating Radar, Santa Bárbara, California USA, cdrom.

**Borges, W.R., Porsani, J.L., Silva, E.M.A., Elis, V.R. & Hiodo, F.Y., 2004.** Utilização de tomografia elétrica na identificação da interface entre uma cobertura antrópica e sedimentos fluviais na área do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. I Simpósio Brasileiro de Geofísica, São Paulo, cdrom.

**Daniels, D.J., 1996.** Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300 p.

**Halliday, D. & Resnick, R., 1973.** Física. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, vol. 2.

**Porsani, J.L., 1999.** Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro - SP, 145 p.

**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, v. 22, n. 3.

**Porsani, J.L., Borges, W.R., Rodrigues, S.I. & Hiodo, F.Y., 2005.** Em Busca do Estado da Arte em GPR: Instalação do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP e Resultados 2D e 3D. Anais do 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, cd-rom.

**Radzevicius, S.J. and Daniels, J.J., 2000.** Ground penetrating radar polarization and scattering from cylinders. Journal of Applied Geophysics, vol. 45, p. 111-125.

**Radzevicius, S. J., Daniels, J.J., Guy, E. D., Vendl, M.A., 2000.** Significance of crossed-dipole antennas for high noise environments. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, February 20 -24, Arlington, VA, p. 407 – 413.

**Radzevicius, S.J., 2001.** Dipole antenna properties and their effects on ground penetrating radar data. PhD. Tesis, The Ohio State University, USA.

**Reynolds, J.M., 1997.** Introduction to applied and environmental geophysics. Chichester: John Wiley & Sons.

**Roberts, R.L., Daniels, J. J., 1996.** Analysis of GPR polarization phenomena. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, vol. 1, n. 2, pag. 139 - 157.

**Versteeg, R., 1996.** Optimization of GPR acquisition and noise elimination parameters. In Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Ground Penetrating Radar, Sendai, Japan, p. 289-292.

### Agradecimentos

Ao IAG-USP pela infra-estrutura necessária para a realização desta pesquisa. À Pró-Reitoria de Pós-Graduação da USP pela bolsa de mestrado. Ao técnico Ernande Costa Santos (IAG/USP) e aos alunos da graduação e pós-graduação em Geofísica pelo fundamental apoio durante a aquisição de dados.



