



# Comparação entre Diferentes Arranjos de Antenas GPR para Mapear Manilhas de Concreto Instaladas no SCGR do IAG/USP

David Nakamura Leite <sup>1,\*</sup> & Jorge Luís Porsani <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduação em Geofísica – IAG/USP. E-mail: [mazza@iag.usp.br](mailto:mazza@iag.usp.br)

<sup>2</sup> Departamento de Geofísica – IAG/USP. E-mail: [porsani@iag.usp.br](mailto:porsani@iag.usp.br)

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<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

In this article, GPR-Ground Penetrating Radar results are shown for multi-configuration antennas (EyEy and ExEx modes), by using 100 MHz and 200 MHz frequencies, to compare the performance in detection of concrete tubes buried at IAG/USP test site, located in São Paulo city, Brazil. The results shown that the steel reference pipe was well detected by EyEy mode, and the concrete tubes were better detected by ExEx mode. These results emphasize that multi-configurations of GPR antennas have a great potential to improve the quality of images and to discriminate different buried targets. Besides, they have some applicability in geotechnical and geoscientific studies.

## Introdução

Nos últimos anos, a demanda por novos recursos e ferramentas que possibilitassem uma melhor visualização do subsolo fez com que a Geofísica passasse por um processo de reestruturação e aprimoramento de suas técnicas. Nesse contexto podemos destacar a sísmica de reflexão, gravimetria, métodos elétricos e eletromagnéticos, nesse último, o GPR foi de fundamental importância para trabalhos na área ambiental e no mapeamento de interferências em áreas urbanas. A agilidade na aquisição facilitou a “popularização” desse método no mercado, conseqüentemente novas pesquisas surgiram à medida que problemas relacionados à exploração rasa eram encontrados.

Procedimentos padrões na aplicação do método GPR são usados constantemente por pesquisadores e profissionais da área. Além de ser um método não invasivo, o GPR destaca-se pela imagem de alta resolução e pelo baixo custo de utilização, quando comparado com os outros métodos geofísicos.

Entretanto, alguns resultados apresentam forte ambigüidade quando aplicado em ambiente urbano para a localização de manilhas de concreto, tambores

metálicos e plásticos, dentre outros. A qualidade da imagem GPR depende de fatores como polarização, empilhamento dos traços e espaçamento entre traços, por isso a necessidade de efetuar um trabalho que busque reduzir as ambigüidades. Para tanto, estudos de Sítios Controlados são recomendados para se conhecer as anomalias geofísicas sobre alvos cujas propriedades físicas e geométricas são conhecidas.

O presente trabalho faz parte da pesquisa de IC do autor e está sendo desenvolvido sobre os alvos instalados na linha 3 do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP, caracterizados por manilhas de concreto de diferentes diâmetros e dispostas em diferentes profundidades. Os estudos consistem em usar multi-configuração de antenas, visando melhorar a caracterização desses alvos. Para isso, foi utilizado o equipamento sueco (RAMAC), antenas não blindadas de 100 MHz e 200 MHz. A aquisição dos dados foi realizada através dos modos ExEx (antenas paralelas a direção do perfil) e EyEy (antenas perpendiculares a direção do perfil), visando realçar as diferenças referentes a polarização da onda eletromagnética e melhorar a identificação dos alvos no subsolo. Os resultados preliminares são apresentados a seguir.

## Área de estudo: Sítio Controlado de Geofísica Rasa

As atividades de campo em geofísica visam o conhecimento detalhado das informações relacionadas à subsuperfície. Para isso, ao longo dos anos, pesquisadores encontraram, nos sítios controlados, uma forma de reduzir as ambigüidades obtidas em campo, principalmente em ambientes urbanos.

O SCGR-Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP está situado entre os Institutos de Física e o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), conforme mostrado na Figura 1. A área de pesquisa é de 1500 m<sup>2</sup> (30m x 50m), sendo delimitada por quatro marcos de concreto, únicas evidências na superfície. Nesse local foram instaladas sete linhas de 30 m de comprimento, dispostas na direção N-S, com diferentes tipos de material no subsolo, tais como, tambores metálicos e plásticos, tubulações metálicas e plásticas, manilhas de concreto, cabos elétricos etc. Informações detalhadas sobre a instalação e alguns resultados GPR podem ser encontradas em Porsani et al. (2006, 2008), Porsani & Sauck (2007), Borges (2007), Santos (2009).

Geologicamente, a área é composta por um aterro, caracterizado por argila arenosa a siltosa, com alguns níveis intercalados de silte, ora argiloso, ora arenoso, predominantemente de cor vermelha escura, com espessura inferior a 3 m. A linha 3 possui manilhas de concreto, de diferentes diâmetros (26, 48 e 70 cm), dispostas na horizontal e na vertical, que buscam simular dutos de escoamento de água e esgoto nos centros urbanos. O *layout* da disposição espacial dos alvos instalados na linha 3 estão apresentados na interpretação preliminar dos resultados.

### Metodologia

O método GPR consiste na propagação de ondas eletromagnéticas de alta frequência (10 MHz a 2,5 GHz) para a localização de objetos em subsuperfície, obtendo imagens de alta resolução. A imagem é formada após a reflexão e difração da onda eletromagnética, onde parte do sinal é refletida ao encontrar uma variação nas propriedades elétricas do solo. Nem todo sinal transmitido volta à antena receptora devido às perdas do sinal que é absorvido pelo meio. Quando o sinal é recebido, este é registrado em função do tempo duplo de percurso, i.e., tempo de ida e volta.

A propagação de ondas eletromagnéticas em qualquer meio é descrita pela física e pela matemática e foram formuladas por Maxwell através de quatro equações. No entanto, as equações de Maxwell, por si só, não são suficientes para descrever as interações dos campos eletromagnéticos com as propriedades físicas do solo (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética). Detalhes sobre o desenvolvimento matemático das principais equações usadas no método GPR podem ser encontrados em Daniels (1996), Porsani (1999), dentre outros.

### Aquisição e processamento dos dados GPR

Os dados foram adquiridos no modo contínuo, sobre a linha 3 do SCGR, com frequências de operação de 100 MHz e 200 MHz. Para cada antena, foram utilizados os seguintes parâmetros: intervalo entre os traços de 5cm e empilhamento ou *stack* de 16.

Para a realização desse experimento, foi utilizado um “trenó” feito com uma placa de PVC na qual é fixada a antena (RAMAC-MALA), assim, o dispositivo é puxado por uma corda de modo que o sistema fique fixo e estável. Após os ajustes necessários, foram executados 4 perfis, sendo 2 no modo ExEx (antena paralela a direção do perfil) (Figura 2) e 2 no modo EyEy (antena perpendicular a direção do perfil) (Figura 3).

O processamento dos dados foi feito utilizando-se os softwares Gradix e Radan. Com o Gradix busca-se fazer a correção de *drift* instrumental (i.e., variação da onda aérea e *ground wave*), a fim de reduzir os ruídos provocados pela instabilidade do equipamento. As oscilações de carga na bateria e aquecimento são alguns

dos ruídos que podem ser minimizados com a correção de *drift*.

Após a correção de *drift*, o processamento dos dados foi feito com o software Radan. As principais etapas usadas foram: correção do tempo zero, remoção de ganho no *header*, filtro de frequência, ganho exponencial, filtro espacial horizontal (remoção do *background*) e conversão tempo/profundidade.

A correção do tempo zero ajusta os traços à chegada da primeira onda (aérea). A remoção de ganho no *header* permite eliminar o ganho inserido no arquivo para a obtenção dos dados. O filtro de frequência passa-banda possibilita a redução de ruídos de baixa e de alta frequência. Depois da passagem de filtro, o sinal foi amplificado com um ganho linear e exponencial. Esse ganho permite uma melhora na visualização dos dados à medida que aplicamos o ganho crescente em função do tempo para compensar as perdas do sinal. A remoção do *background* permitiu uma melhora na análise de alvos pontuais. Para a conversão tempo em profundidade foi usada a velocidade de 0,080m/ns, obtida por meio da análise de difrações hiperbólicas nos alvos.

### Interpretação preliminar dos resultados

A Figura 4 mostra os resultados dos perfis GPR feitos com as antenas de 100 MHz e 200 MHz, modo contínuo e arranjo das antenas ExEx e EyEy. A Figura 4a mostra a disposição das manilhas de concreto na linha 3 do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. A Figura 4b mostra os resultados GPR obtido no modo contínuo com antena de 100 MHz paralela a direção do perfil (i.e., modo ExEx). Nesta figura nota-se que as manilhas de concreto (A, B, C, D, F, G, I, J, K, L) foram nitidamente detectadas, sendo caracterizada por hipérbolas de difração. A exceção é o cano metálico guia (alvo E, posição de 15 m) e o alvo H (posição de 21 m). Para o cano metálico guia, a resposta pela baixa quantidade de energia refletida encontra-se, principalmente, no pequeno diâmetro do cano (i.e., grande espalhamento de energia) e pela alta condutividade do solo, predominantemente argiloso. Outra razão, pela qual o cano metálico guia não foi detectado é o fato de o campo eletromagnético ter sido aplicado a 90 graus do eixo de maior comprimento do cano (arranjo ExEx). Já na posição do alvo H, obteve-se uma reflexão que torna a localização do alvo imprecisa, mesmo após a remoção do *background*. Nesta figura, é importante ressaltar que o modo ExEx conseguiu realçar bem o alvo C que está disposto na vertical. Dentro desse contexto, pode-se dizer que a grande parcela dos alvos foi localizada devido ao fato da irradiação no modo ExEx ser mais focada (Annan, 1992; Nobes & Annan, 2000).

A Figura 4c mostra os resultados obtidos com a antena de 100 MHz no modo EyEy. Ao analisar o perfil, nota-se apenas a presença dos alvos A, B, C, D e E (cano metálico guia). De um modo geral, inicialmente, era esperado que o arranjo EyEy permitisse localizar um maior número de alvos, devido ao fato da sua área de pegada ser maior (Nobes & Annan, 2000). Entretanto, o

concreto é um material dielétrico, sendo assim, praticamente não ocorre o efeito da polarização, pois não há elétrons livres. Nesse caso, quando a onda eletromagnética incide sobre as manilhas de concreto são criados momentos dipolares, pelo campo elétrico, que produzem um campo elétrico com intensidade menor e sentido oposto (Lima, 2006). Os alvos A, B e C foram localizados porque possuem um diâmetro grande (quando comparado às outras manilhas), além de possuírem malha de ferro em sua estrutura. Para o alvo E, i.e., cano metálico guia, o resultado está dentro do esperado (Radzevicius and Daniels, 2000). Nesse caso, como a componente magnética está ortogonal a direção de maior comprimento do eixo da antena, ela provoca, através da criação de dipolos e da presença de partículas livres no metal, um incremento da componente elétrica na reflexão resultante (Lima, 2006).

Os resultados apresentados na Figura 4d referem-se às aquisições feitas sobre a linha 3 com a antena de 200 MHz, modo contínuo e arranjo das antenas no modo ExEx. Quando compara-se esta figura com a Figura 4b pode-se notar que a resolução com a antena de 200 MHz foi melhor, ou seja, o menor comprimento de onda permite que alvos superficiais e de diâmetro menor sejam melhores visualizados. No entanto, os alvos H e I não puderam ser detectados, pois apresentam pequeno diâmetro e estão a uma profundidade maior. Com relação às outras manilhas, o efeito é o mesmo observado na antena de 100 MHz (ExEx), onde, devido ao padrão de irradiação ser mais focado permite que os alvos sejam localizados com maior clareza.

A Figura 4e mostra o resultado obtido no modo EyEy com antena de 200 MHz, para a linha 3. Nesta figura, é importante observar a presença dos alvos K e L, ao passo que com a antena de 100 MHz, modo EyEy, estes alvos não foram localizados. A localização dos alvos K e L foi possível devido ao menor comprimento de onda da antena de 200 MHz e por estes alvos estarem dispostos a profundidades mais rasas. Novamente, as manilhas A, B e C foram localizadas, pois possuem um diâmetro maior e uma malha de ferro em sua estrutura, o que permite mais energia sendo refletida na superfície desses alvos. O alvo E também foi claramente detectado como explicado anteriormente.

### Conclusões preliminares e perspectivas futuras

Para as manilhas de concreto, o arranjo das antenas no modo ExEx (antenas paralelas à direção do perfil), permitiu uma detecção mais nítidas dos alvos dispostos nesta linha. Outra característica importante foi a detecção do alvo disposto na vertical. O modo ExEx mostrou-se promissor na localização de manilhas de concreto quanto a disposição no subsolo, pois o padrão de irradiação, mais focado, permite uma melhor resposta para os alvos dispostos a maiores profundidades.

Para a localização do cano metálico guia (alvo E), o arranjo EyEy mostrou-se mais eficiente. Nesse modo, a polarização ocorre devido à componente elétrica sofrer um incremento na reflexão. Este resultado está

compatível com os experimentos feitos por (Radzevicius and Daniels, 2000).

Os melhores resultados foram obtidos com a antena de 200 MHz devido ao menor comprimento de onda, o que permite uma melhor visualização dos alvos mais rasos e com diâmetros menores.

A próxima etapa desse trabalho incluirá o uso do equipamento americano (GSSI) com as antenas de 100 e 200 MHz, arranjos ExEx e EyEy, modo contínuo, sob a mesma linha do SCGR, onde um estudo comparativo com a antena dipolar Ramac/Mala será realizado.

### Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPQ pela bolsa de Iniciação Científica. Ao IAG/USP pela infra-estrutura necessária para desenvolver esta pesquisa. Aos amigos Daniel (Tião), Diego, Divanir (Limeira), Emerson, Fábio (Farofa), Gabriel (Pimpão), Rafael, Rodrigo, Rubens, Thiago (Garrafa), Vinicius, Yang (Kyle) e ao Ernande pela ajuda na aquisição e processamento dos dados.

### Referências

- Annan, A.P., 1992. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors & Software, Inc. Mississauga, Ontario, Canada.
- Borges, W.R., 2007. Caracterização Geofísica de Alvos Rasos Com Aplicações no Planejamento Urbano e Meio Ambiente: Estudo Sobre o Sítio Controlado do IAG/USP. 2007. Tese de Doutorado (Geofísica), Universidade de São Paulo.
- Daniels, D.J., 1996. Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300p.
- Daniels, J., Wielopolski, L., Radzevicius, S., Bookshar, J., 2003. 3D GPR Polarization Analysis for Imaging Complex Objects. Proceedings of the SAGEEP, San Antonio, TX, cdrom.
- Lima, R.S., 2006. Otimização de perfis de reflexão GPR sobre manilhas de concreto e tubulações de PVC instaladas no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. Mestrado (Geofísica), Universidade de São Paulo.
- Nobes, D.C., Annan, A.P., 2000. "Broadside" versus "end-fire" radar response: Some simple illustrative examples. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR'2000, cdrom.
- 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 (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP.
- 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, n.1, 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.

Porsani, J.L., Santos, V.R.N., Rodrigues, S.I., Almeida, E.R., 2008. GPR characterization of plastic and steel drums buried in the test site at University of São Paulo-Brazil: applications to environmental studies. *Proceedings of the 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR2008*, Birmingham, UK, cdrom.

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

Santos, V.R.N., 2009. Emprego dos Métodos Eletromagnético Indutivo e GPR no Mapeamento de Redes de Interferências Instaladas no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. *Dissertação (Mestrado), IAG/USP*.

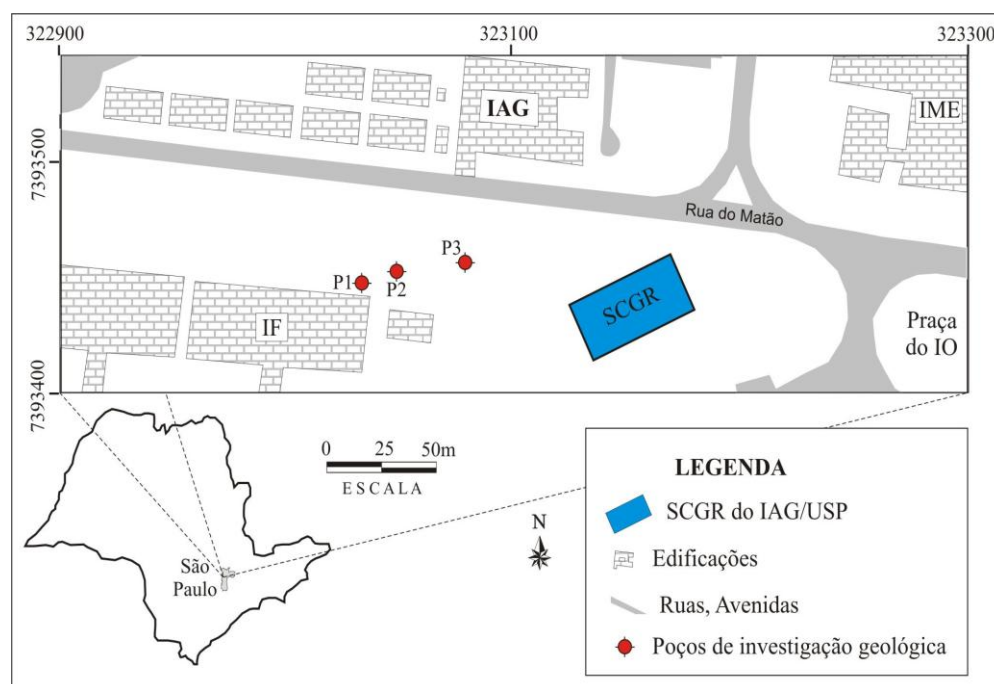


Figura 1. Localização do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP (Porsani et al., 2006).





Figura 2. Aquisição GPR com antenas de 100 MHz sobre o trenó de PVC, modo contínuo, arranjo ExEx.



Figura 3. Aquisição GPR com antenas de 100 MHz sobre o trenó de PVC, modo contínuo, arranjo EyEy.

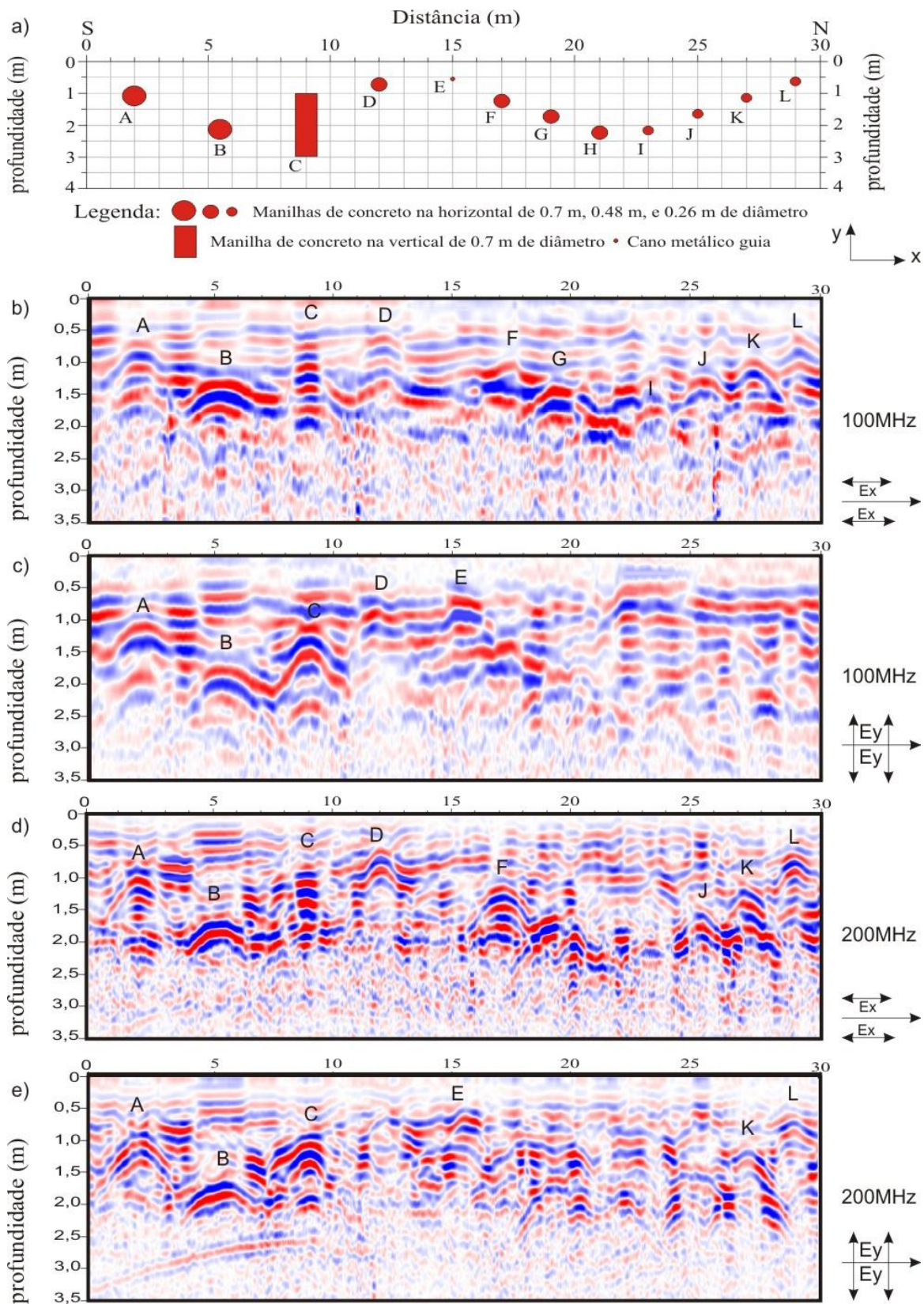


Figura 4. Perfis GPR sobre a linha 3 do SCGR, modo contínuo. a) Disposição espacial das manilhas de concreto. b) Perfil de 100 MHz, arranjo ExEx. c) Perfil de 100 MHz, arranjo EyEy. d) Perfil de 200 MHz, arranjo ExEx. e) Perfil de 200 MHz, arranjo EyEy.