

Projeto-182. Avaliação de Métodos Geofísicos (GPR e ER) para Localização de Interferências no Subsolo Urbano. Ciclo: 2013/2014

Jorge Luís Porsani ¹, Vagner Roberto Elis ¹, Andrea Anacleto Ferreira ², Maria Teresa Voltarelli Barbosa ² & Carla Araujo Sautchuk

¹ Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas.
Departamento de Geofísica. E-mail: jorge.porsani@iag.usp.br

² COMGÁS. Inovação Tecnológica. Pesquisa & Desenvolvimento.

Resumo – Este projeto tem como objetivo estudar as metodologias geofísicas GPR-Ground Penetrating Radar (ou Radar de Penetração no Solo) e ERC-Eletrorresistividade Capacitiva para o mapeamento de utilitários, tais como tubulações em subsuperfície em apoio às obras de implantação e manutenção de redes de infraestrutura da COMGÁS. Os estudos visaram analisar suas vantagens e limitações para localizar com precisão as tubulações de diversas composições, como plástico, metal, concreto, e cerâmica, referentes à passagem de gás, água, esgoto, energia elétrica, telefonia e fibra ótica, existentes em vias públicas, como calçadas, ruas e praças, nos grandes centros urbanos. Pretende-se com esta solução, desenvolver uma Cultura dentro da COMGÁS, onde engenheiros e técnicos possam ser treinados para o uso da Geofísica Aplicada, visando o mapeamento de tubulações no subsolo “antes” do início dos trabalhos de reparos ou avanços das obras civis, e com este procedimento, reduzir os acidentes perigosos que possam colocar a vida da população em risco, bem como minimizar os custos com os danos causados pela ruptura de redes de interferências de outras concessionárias. Os estudos foram realizados em condições controladas de campo e em condições reais. Os estudos controlados foram realizados no campo de provas denominado de Sítio Controlado de Geofísica Rasa-II do IAG/USP, que foi construído durante o desenvolvimento deste Projeto. Os estudos reais foram realizados em três áreas constituídas por redes subterrâneas da COMGÁS, localizadas no bairro da Mooca, na cidade de São Paulo. Os resultados deste Projeto são bastante promissores. O método ERC é indicado para o mapeamento da resistividade elétrica do subsolo, nível freático e serve para mapear tubulações metálicas com grande extensão. O método GPR é indicado para mapear, com precisão, os alvos plásticos, metálicos, concretos e cerâmicos instalados no SCGR-II, bem como os alvos no subsolo das três áreas da COMGÁS. A solução proporcionada pelo método GPR permitiu uma rápida resposta conforme requerida pelo setor operacional da COMGÁS. Portanto, o impacto do desenvolvimento deste projeto de pesquisa junto à COMGÁS e à sociedade é bastante positivo.

Palavras-chave: Mapeamento de interferências; Métodos geofísicos; GPR; Radar de penetração no solo; ERC; Eletrorresistividade capacitiva; SCGR; Sítio Controlado de Geofísica Rasa; IAG/USP, COMGÁS.

Introdução

Este projeto analisou os métodos Geofísicos GPR-Ground Penetrating Radar (ou Radar de Penetração no Solo) e ERC-Eletrorresistividade Capacitiva para o mapeamento de utilitários, como tubulações em subsuperfície em apoio às obras de implantação e manutenção de redes de infraestrutura da COMGÁS.

Os estudos foram realizados em condições controladas de campo e em condições reais,

visando estudos de casos. Os estudos controlados foram realizados no campo de provas denominado de Sítio Controlado de Geofísica Rasa-II do IAG/USP, que foi construído durante o desenvolvimento deste Projeto de P&D. O SCGR-II tem 500m² (10m-EW x 50m-NS) e está localizado em frente ao prédio do IAG, no campus da USP, em São Paulo (**Figura 1**).

Os estudos reais foram realizados em três áreas caracterizadas por redes subterrâneas

da COMGÁS, localizadas no bairro da Mooca,

na cidade de São Paulo.



Figura 1. Localização do SCGR-II no campus da USP, em São Paulo. Ao fundo está o prédio do IAG.

Desenvolvimento

O projeto foi estruturado em seis módulos:

Módulo 1. Levantamento do estado da arte das tecnologias existentes para detecção de tubulações no subsolo.

Módulo 2. Instalação de um Campo de Provas denominado de Sítio Controlado de Geofísica

Rasa-II (SCGR-II), constituído por três linhas de estudos de 50m de comprimento de direção N-S. Diferentes alvos no subsolo simulam as principais redes de infraestrutura, constituídas por tubulações de PVC, PE, ferro fundido, manilha cerâmica, representando de alguma forma, cerca de 90% dos ramais e redes de gás, abastecimento de água e de coleta de esgotos (**Figura 2**).



Figura 2. Diferentes tubulações instaladas na Linha 3 do SCGR-II do IAG/USP. Nesta vala os alvos estão instalados em 0,5m de profundidade.

Módulo 3. Calibração dos equipamentos geofísicos de GPR e ERC sobre alvos e tubulações instalados no SCGR-II.

Módulo 4. Emprego dos métodos geofísicos GPR e ERC para mapeamento de tubulações no subsolo em três áreas localizadas no bairro da Mooca, no município da cidade de São Paulo, que foram escolhidas por engenheiros e técnicos da COMGÁS, visando estudos de casos reais.

Módulo 5. Elaboração de procedimento operacional, consistindo de Manual Prático e especificação técnica dos equipamentos GPR e ERC que atendam a concessionária COMGÁS.

Módulo 6. Cursos/treinamentos teórico e prático sobre o uso dos métodos GPR e ERC para engenheiros e técnicos da COMGÁS, e de empresas terceirizadas, visando à

transferência de tecnologia para o setor produtivo.

Com base nos resultados obtidos durante as atividades anteriores foi desenvolvida uma análise das vantagens e limitações a respeito das metodologias estudadas tanto no SCGR-II do IAG/USP quanto nos estudos dos três casos reais no bairro da Mooca, SP.

Esta análise recomenda que engenheiros e técnicos da COMGÁS façam uso dos métodos Geofísicos GPR e ERC para o mapeamento de redes de interferências no subsolo “antes” do início das obras civis, visando reduzir os acidentes perigosos que colocam a vida da população em risco, bem como minimiza os custos com os danos causados pela ruptura de redes de interferências previamente instaladas por outras concessionárias, conhecida como “Fogo Amigo”.

O projeto promoveu a realização de várias Reuniões Técnicas tanto no Departamento de Geofísica do IAG/USP quanto na sede da COMGÁS. As reuniões sempre tiveram a participação de engenheiros e técnicos da COMGÁS, onde os objetivos principais consistiam na discussão dos resultados, conclusões e recomendações estabelecidas pelo projeto.

Resultados

1. SCGR-II do IAG/USP e três áreas na Mooca:

Os dados GPR foram adquiridos com equipamentos SIR-3000, SIR-4000 e DF-Dual Frequency (GSSI) e as antenas utilizadas foram: 100, 200, 270, 300/800, 400 e 900MHz.

Os resultados GPR 2D permitiram mapear com precisão as tubulações e os alvos em diferentes profundidades, sendo caracterizados por típicos padrões de reflexão hiperbólica correspondendo ao topo dos alvos. A **Figura 3** mostra o perfil GPR de 270MHz sobre a Linha 3, caracterizada por tubulações instaladas em 0,5m, 1m e 1,5m de profundidade. Observe as nítidas reflexões hiperbólicas correspondentes ao topo dos alvos. No SCGR-II os resultados permitiram distinguir as tubulações de PVC vazias, daquelas preenchidas com água, sendo esta última caracterizada por uma reverberação na reflexão hiperbólica. Os resultados GPR 3D permitiram estimar as geometrias, as dimensões e as orientações dos alvos no subsolo.

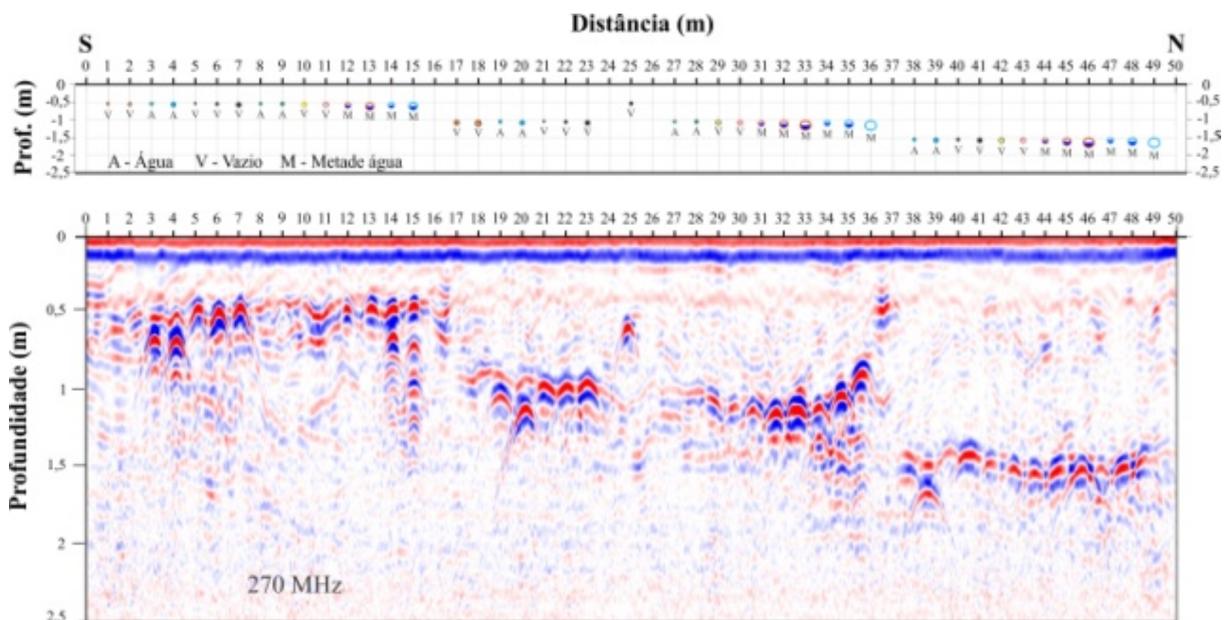


Figura 3. Perfil GPR de 270MHz sobre diferentes tubulações instaladas na Linha 3 do SCGR-II (ver fotos dos alvos na **Figura 2**).

Os dados ERC foram adquiridos com o equipamento da empresa Geometrics. Os resultados mostraram que esta metodologia é recomendada para mapear a resistividade elétrica das camadas do subsolo, nível d'água e o cano metálico guia disposto na posição de 25m, com 11m de comprimento (**Figura 4**). O

resultado ERC 3D permitiu estimar a geometria e a dimensão do cano metálico guia. Por outro lado, os alvos de pequenas dimensões, como cabos elétricos e as tubulações não foram detectadas, devido à baixa resolução deste método para este fim.

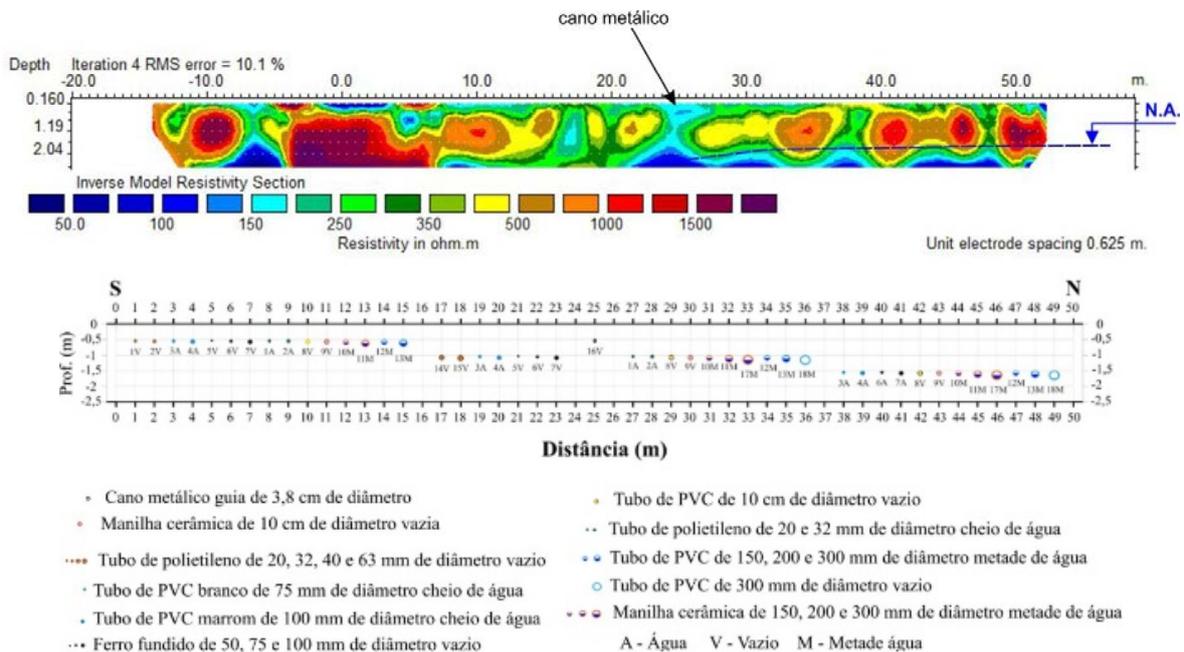


Figura 4. Perfil ERC sobre diferentes tubulações instaladas na Linha 3 do SCGR-II. O nível d'água (N.A.) está indicado na Figura.

II. Procedimentos Operacionais:

Os procedimentos operacionais consistiram na elaboração de Manuais Práticos com as especificações técnicas dos equipamentos geofísicos GPR e ERC, visando o mapeamento de utilitários e interferências instaladas no subsolo, tanto no SCGR-II do IAG/USP quanto em situações reais de campo. Os Manuais Práticos apresentam de maneira resumida as principais etapas envolvidas na Aquisição, Processamento e Interpretação dos dados GPR e ERC, sendo fundamentais para os engenheiros e técnicos da COMGÁS que venham a trabalhar com esses métodos geofísicos.

III. Cursos e Treinamentos:

Este módulo consistiu do oferecimento de dois cursos/treinamentos sobre o uso dos métodos GPR e ERC, onde foram abordados os princípios teóricos (físicos e matemáticos), bem como a parte prática, na qual envolveu as atividades de aquisição, processamento e interpretação dos resultados. A aquisição dos dados foi realizada no SCGR-II do IAG/USP, sendo que esses dados foram usados no processamento e inversão dos dados. Os

cursos/treinamentos foram ministrados aos engenheiros e técnicos da COMGÁS e de empresas prestadoras de serviços, visando à transferência de tecnologia para o setor produtivo. Essas atividades foram essenciais para a familiarização com os equipamentos e com os softwares de processamento e inversão dos dados geofísicos.

Conclusões e Contribuições

O SCGR-II do IAG/USP constitui-se em um laboratório de pesquisas no subsolo, sendo importante para a capacitação de engenheiros e técnicos que venham a trabalhar com os métodos geofísicos GPR e ERC.

O método geofísico GPR-Ground Penetrating Radar (ou Radar de Penetração no Solo) se mostrou excelente para localizar, com precisão, as tubulações de plástico, metal, concreto e cerâmica referentes à passagem de gás, água, esgoto, energia elétrica, telefonia e fibra ótica, existentes sob calçadas, ruas e praças nos grandes centros urbanos.

O método ERC-Eletrorresistividade Capacitivo é indicado para o mapeamento da

resistividade elétrica do subsolo, o nível freático e serve para mapear tubulações metálicas com grande extensão.

Os estudos mostraram a viabilidade técnica de emprego do GPR no mapeamento de interferências no subsolo e do ERC no mapeamento da resistividade elétrica do subsolo e nível freático. Tratam-se, portanto, de abordagens diferenciadas, que podem ser incorporadas pelos responsáveis da Comgás, onde engenheiros e técnicos possam ser capacitados para usarem esses métodos geofísicos, visando o mapeamento de tubulações no subsolo.

Para os futuros trabalhos de mapeamento de redes de interferências no subsolo de regiões metropolitanas a COMGÁS poderá exigir que as empresas prestadoras de serviços na área de mapeamento de interferências façam uma calibração dos equipamentos geofísicos no SCGR-II do IAG/USP “antes” do início dos trabalhos, visando uma maior confiabilidade na interpretação dos resultados.

A principal contribuição deste Projeto consistiu em mostrar que o método GPR proporciona uma rápida resposta ao mapeamento de redes de interferências no subsolo, conforme requerida pelo setor operacional da COMGÁS, e que o método ERC permite mapear a resistividade elétrica do subsolo, o nível freático e extensas tubulações metálicas. Neste sentido, o impacto do desenvolvimento deste projeto de P&D junto à COMGÁS e à sociedade é bastante positivo.

O projeto mostrou também que o uso do GPR no mapeamento de redes de interferências no subsolo “antes” do início de obras civis pode reduzir os acidentes perigosos que colocam a vida da população em risco, minimizando os custos com os reparos dos danos causados pela ruptura de interferências previamente instaladas por outras concessionárias.

Agradecimentos

À COMGÁS pelo apoio ao Projeto-182. Ao IAG/USP pela infra-estrutura para o desenvolvimento deste projeto. Ao IF/USP por ceder a área para a instalação do SCGR-II. À

Prefeitura da USP pelo empréstimo da retro-escavadeira. À empresa terceirizada Sial-Drill pelo apoio à construção do SCGR-II. Aos técnicos do IAG e estudantes de graduação e pós-graduação pela ajuda na instalação dos alvos e aquisição dos dados geofísicos.

Referências Bibliográficas

- Daniels, D.J., 2007. Surface Penetrating Radar. 2ª ed. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom. 726p.
- Grandjean, G., Gourry, J.C., Bitri, A., 2000. Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site. *Journal of Applied Geophysics* 45, 141-156.
- Jol, H.M., 2009. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. 1ª ed. Elsevier, 509p.
- Kuras, O., Beamish, D., Meldrum, P.I., Ogilvy, R.D., 2006. Fundamentals of the capacitive resistivity technique, *Geophysics* 71(3), G135-G152.
- Loke, M.H., Chambers, J.E., Rucker, D.F., Kuras, O., Wilkinson, P.B., 2013. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics* 95, 135-156.
- Metwaly, M., 2015. Application of GPR technique for subsurface utility mapping: A case study from urban area of Holy Meca, Saudi Arabia. *Measurement* 60, 139-145.
- Pan, L., Adamchuk, V.I., Prasher, S., Gebbers, R., Taylor, R.S., Dabas, M., 2014. Vertical soil profiling using a galvanic contact resistivity scanning approach, *Sensors (Switzerland)* 14(7), 13243-13255.
- Poluha, B., Porsani, J.L., Almeida, E.R., Santos, V.R.N., Allen, S.J., 2017. Depth Estimates of Buried Utility Systems Using the GPR Method: Studies at the IAG/USP Geophysics Test Site. *International Journal of Geosciences (On Line)* 8, 726-742.
- 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, Campus de Rio Claro – SP, 145p.
- 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* 24(1), 49-61.
- Porsani, J.L., Sauck, W.A., 2007. GPR profiles over multiple steel tanks: artifact removal through effective data processing. *Geophysics* 72(6), J77–J83.
- Porsani, J.L., Slob, E., Lima, R.S., Leite, D.N., 2010. Comparing detection and location performance of perpendicular and parallel broadside GPR antenna orientations. *Journal of Applied Geophysics* 70, 1-8.
- Porsani, J.L., Ruy, Y.B., Ramos, F.P., Yamanouth, G.R.B., 2012. GPR applied to mapping utilities along the route of the Line 4 (yellow) subway tunnel construction in São Paulo City, Brazil. *Journal of Applied Geophysics* 80, 25-31.
- Porsani, J.L., Almeida, E.R., Poluha, B., Santos, V.R.N., 2017. GPR Tomographic Imaging of Concrete Tubes and Steel/Plastic Tanks Buried in IAG/USP Geophysical Test Site, Brazil. *International Journal of Geosciences (On Line)* 8, 647-658.
- Reynolds, J.M., 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons Ltd., Baffins Lane, Chichester. West Sussex P019 1UD, Englad, 681-749.
- Rodrigues, S.I., Porsani, J.L., 2006. Caracterização GPR de tambores metálicos e plásticos estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. *Revista Brasileira de Geofísica* 24, 157-168.
- Santos, V.R.N., Al-Nuaimy, W., Porsani, J.L., Hirata, N.S.T., Alzubi, H.S., 2014. Spectral analysis of ground penetrating radar signals in concrete, metallic and plastic targets. *Journal of Applied Geophysics* 100, 32-43.
- Zeng, X., McMechan, G.A., 1997. GPR characterization of buried tanks and pipes. *Geophysics* 62(3), 797-806.