

Levantamento de Ground Penetrating Radar para Identificação de Tanques de Combustível e Detecção de Possível Contaminação

Genesson Delmondes Castro¹, Welitom Rodrigues Borges¹, Thiago Lima Mendes¹, Arthur Siqueira de Macedo¹, Aline Leite Jardim Oliveira¹, Caio Francisco da Silva Pereira¹, Rebecca Oliveira Prado¹, Thales Araújo¹, ¹Instituto de Geociências, Universidade de Brasília

Copyright 2023, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 18th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 October 2023.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 18th 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.

Resumo

Os métodos geofísicos, como o Ground Penetrating Radar (GPR), desempenham um papel fundamental na investigação ambiental e no mapeamento de resíduos de hidrocarbonetos. Neste estudo realizado na garagem do Campus Universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, o levantamento foi realizado com o intuito de localizar os tanques de combustível e identificar de possíveis vazamentos. Os resultados do GPR mostraram padrões de reflexão intensas associados aos tanques de combustível, além da identificação de reflexões características de estruturas geotécnicas e geológicas, como galerias de água pluvial, solo e topos rochosos.

Introdução

A contaminação de solos e águas subterrâneas por NAPLs (Non-Aqueous Phase Liquids) foram ocasionados em um grande período em decorrência ao descarte irregular devida a baixa regulamentação ambiental e a partir de acidentes ambientais (Cassidy, 2007; Atekwana e Atekwana, 2010; Win et al., 2011; Li et al., 2012).

Os NAPLs, quando compostos por mistura de hidrocarbonetos, são classificados de acordo com a sua densidade em compostos de fase líquida leve não aquosa-LNAPL (p. ex. gasolina, querosene, óleo diesel e óleo lubrificante) que se alojam na zona vadosa e na franja capilar, e em compostos de fase líquida densa não aquosa-DNAPL (p. ex. Tricloroetano, Percloroetano e PCBs) que percolam para o interior da zona saturada do aquífero (Fitts, 2015).

A aplicação dos métodos geofísicos permite uma melhor compreensão da subsuperfície e de suas condições, o que o torna fundamental na mitigação de danos ambientais no meio contaminado. O Ground Penetrating Radar (GPR) é um método geofísico não invasivo utilizado em investigações ambientais (CETESB, 1999) como uma técnica de mapeamento de resíduos de hidrocarbonetos (Daniels e Roberts, 1992).

O sistema de abastecimento de combustíveis da garagem do Campus Universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB) encontra-se inoperante, sendo necessário a

desativação e remoção dos tanques de abastecimento. A investigação geofísica teve como objetivo a determinação do posicionamento dos tanques de armazenamento no subsolo, bem como identificar possíveis vazamentos de combustíveis na área de estudo (Figura 1).

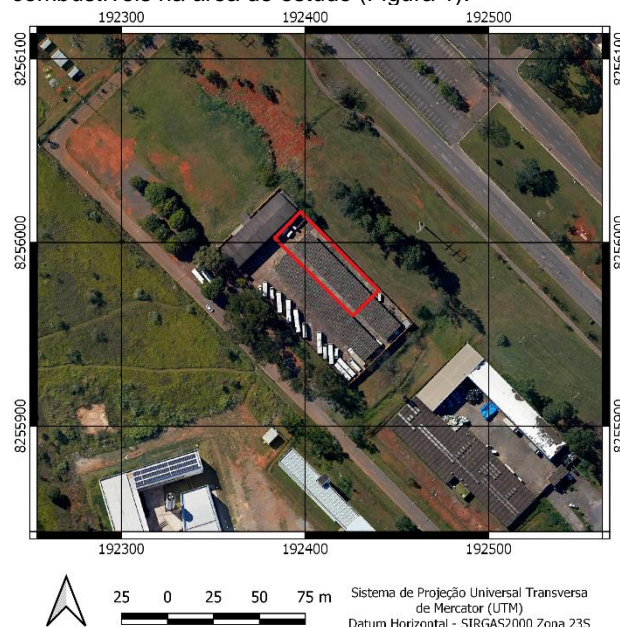


Figura 1. Localização da garagem de veículos da Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, DF.

Métodos

Ground Penetrating Radar

O GPR é um método eletromagnético, no qual são emitidos pulsos de alta frequência, a partir de antena transmissora. A energia transmitida é refletida em subsuperfície e parte retorna para a superfície, e é registrada pela antena receptora. O sinal registrado pelo GPR é representado por traços que refletem a resposta da propagação eletromagnética em subsuperfície (Figura 2). Alguns fatores que atuam na propagação da onda eletromagnética no meio são a velocidade (v) e a atenuação (α). Para materiais geológicos com baixa atenuação, a velocidade de propagação depende essencialmente da constante dielétrica (ϵ_r) dos materiais (Eq. 1.1).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{Eq. (1.1)}$$

onde c é a velocidade de propagação da onda no vácuo.

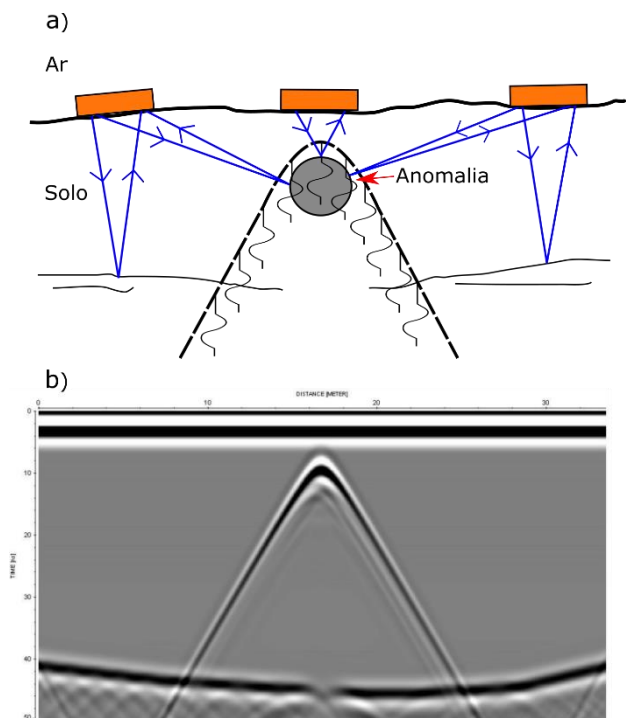


Figura 2. a) Desenho esquemático do processo de aquisição de dados de GPR (modificado de Annan, 1992). b) Seção obtida na aquisição GPR.

A profundidade de investigação e a resolução dependem, principalmente, da frequência utilizada durante a aquisição de dados. Os fatores que influenciam a profundidade de penetração da onda eletromagnética são: o espalhamento geométrico, a atenuação pelo terreno e a partição da energia nas interfaces. A frequência de operação é escolhida de modo que se obter a melhor relação entre profundidade de investigação e resolução (Annan, 1992). A Tabela 1.1 ilustra a relação de frequência utilizada em função da profundidade de investigação.

Tabela 1.1 – Frequência versus Profundidade de investigação (Annan, 1992).

Frequência (MHz)	Profundidade Média de Investigação (m)
10	50
50	35
100	20
200	10
500	3

Metodologia

A área de estudo está localizada na garagem do Campus Universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, próximo aos tanques de combustível (Figura 3).

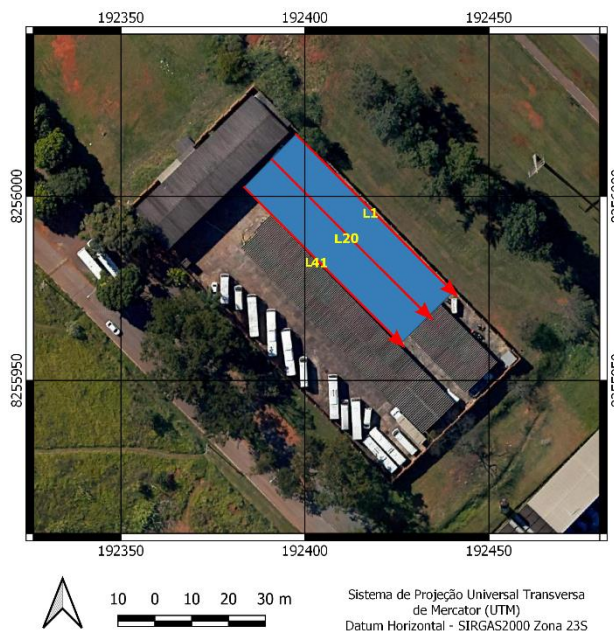


Figura 3. Mapa de disposição das linhas adquiridas com o GPR.

Para a aquisição de dados utilizou-se do sistema SIR3000 (Geophysical Survey System Inc.) acoplado a uma antena blindada de 200 MHz (Figura 4). As aquisições ocorreram no modo afastamento constante, registrando-se os traços a cada 5 cm, com perfis paralelos e a cada 0,5 metro, janela temporal de 270 ns, 1024 amostras por traço e intervalo de amostragem temporal de 0,29 ns.



Figura 4. Aquisição de dados de GPR na área da garagem de veículos da UnB.

Resultados

O processamento das linhas adquiridas foi realizado no software ReflexW 8.5.8 (Sandmeier, 2018). Antes do processamento dos dados realizou-se a concatenação dos arquivos 2D em um arquivo 3D, posteriormente

utilizou-se o módulo 3D data interpretation. O fluxo de processamento aplicado (Figura 5) consistiu na redução da janela temporal (*time cut*) para 250 nanossegundos (ns), onde verificou-se que o sinal do GPR, para a antena de 200 MHz, não se propagou além desse intervalo de tempo; redução do tempo zero (*static correction*) para ajuste dos traços em relação ao registro do sinal da onda direta no solo em sua posição correta, em que o valor definido de foi de 28.65ns; aplicação de filtro bidirecional (*subtracting average*) para remoção de ruídos coerentes; utilização de ganho de decaimento de energia (*energy decay*) baseado na curva de atenuação do sinal eletromagnético de todo o volume 3D; realização da migração 3D (*3D-fk migration*) para remoção das hipérbolas de difração e reposicionamento dos refletores em sua localização original; e conversão do registro de tempo para profundidade (*time-depth conversion*).

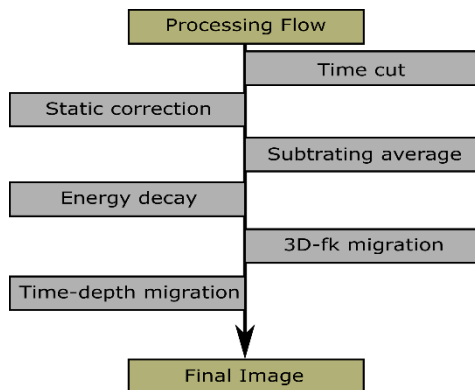


Figura 5. Fluxograma de processamento aplicado.

A velocidade eletromagnética média do meio foi obtida a partir da análise da velocidade de hipérbolas de difração registradas ao longo das seções de GPR. Posteriormente foi utilizada na rotina de processamento a velocidade de 0,08 m/ns.

Para visualização, elaboração de imagens e interpretação dos dados, foi utilizado o módulo *3D-data interpretation* do *ReflexW*. Por meio do bloco diagrama criado, foi possível extrair cortes e seções em diferentes profundidades e direções.

As imagens obtidas possibilitaram a identificação de diferentes estruturas geotécnicas em subsuperfície. As feições foram relacionadas à rede de escoamento de água pluvial, as espessuras do pavimento rígido, espessura do solo e profundidade do topo rochoso (Figura 6). Também foi possível localizar a profundidade dos dois tanques de combustível presentes na área de estudo, além de possibilitar a determinação das dimensões.

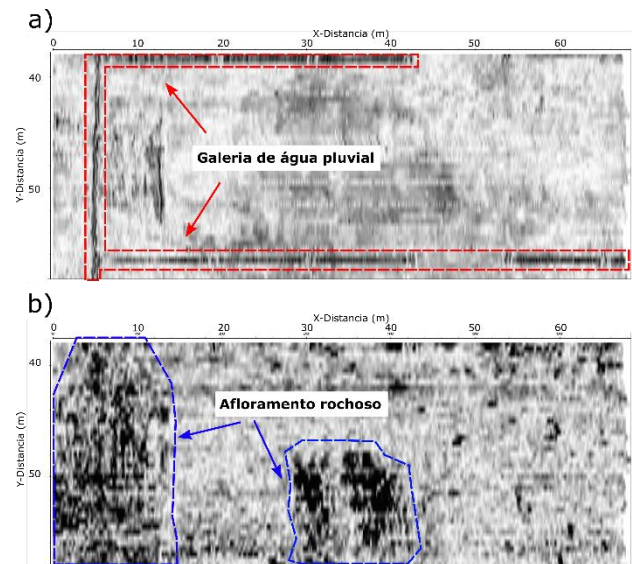


Figura 6. Corte em profundidade realizado no bloco de GPR 3D, com indicação de galerias de água pluvial e topos rochosos.

Apesar da identificação e caracterização de diversas estruturas, os resultados geofísicos não evidenciaram padrões de reflexão correlatos a vazamentos dos tanques de combustível. No caso de vazamento, espera-se uma anomalia de alta condutividade elétrica em função do tempo de biodegradação dos hidrocarbonetos. No GPR a presença de contaminação no subsolo causaria o efeito conhecido como *shadow zone* (zona de sombra), onde o sinal do GPR não consegue se propagar em função da alta condutividade elétrica do meio.

Os resultados do GPR indicam os tanques de combustível como refletores de alta intensidade do sinal eletromagnético, com os topos entre as profundidades de 0,5 a 1,0 metro. Os dados de amplitude do GPR não mostram zonas condutivas abaixo e nas proximidades dos tanques de combustível (Figura 7).

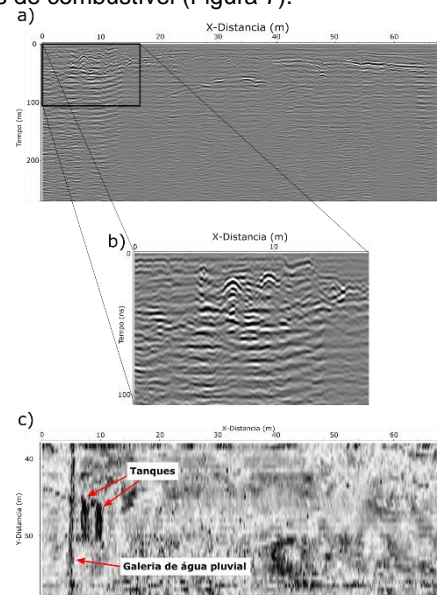


Figura 7. Resultados de GPR obtidos na área da garagem da UnB. A) Seção 2D realizada perpendicular aos tanques de combustível. B) Detalhe do padrão de anomalias de GPR relacionada aos tanques. C) Mapa de amplitude do GPR 3D com a indicação dos tanques e de uma galeria pluvial.

Conclusões

A aplicação da geofísica em estudos geotécnicos tem aumentado, em função do crescente avanço tecnológico e da eficácia dos resultados obtidos. Além disso, os métodos geofísicos constituem uma forma de investigação não invasiva, ou seja, é possível estudar o subsolo local, sem a realização de escavações.

Com os resultados do GPR, foi possível identificar diferentes padrões de reflexão, que foram associados as estruturas geotécnicas e geológicas.

A partir das informações de localização dos tanques em superfície e das demais estruturas presentes na área de estudo, os padrões de reflexão foram relacionados a esses alvos. O contexto geológico, foi também estudado e interpretado em função dos resultados geofísicos.

O método apresentou alta eficácia no mapeamento de estruturas geotécnicas e na caracterização do meio físico. Não foram identificados resultados geofísicos que indicam a presença de contaminação no solo causada por vazamento do tanque de combustível.

Por fim, ressalta-se que o GPR é um método de investigação indireta e, não elimina a necessidade de investigações diretas, como sondagens, ou amostragens de químicas do solo, para confirmação dos resultados obtidos.

Referências

Annan, A.P., 1992. Ground penetration radar workshop notes. Sensors & Software, Inc., Internal Report, 130 p.

Atekuana, E.A.; Sauck, W.A. & Werkema Jr., D.D. 2000. Investigations of geoelectrical signatures at a hydrocarbon contaminated site. *Journal of Applied Geophysics*, 44: 167– 180.

Atekwana, E. A. & Atekwana, E. A. 2010. Geophysical Signatures of Microbial Activity at Hydrocarbon Contaminated Sites: A Review. *Surv Geophys*, 31: p.247– 283. doi: 10.1007/s10712-009-9089-8.

Borges, W.; Lago, A.; Fachin, S.; Elis, V.; Santos, E. 2006. GPR utilizado na detecção da geometria de cavas usadas para disposição de resíduos de óleos lubrificantes. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, 24(4): p483-494.

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*, 94: p.49-75.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Sao Paulo. Cetesb, 1999.

Daniels, J. J.; Roberts, R.; Vendl, M. 1992. Site Studies of Ground Penetrating Radar for Monitoring Petroleum

Product Contaminants. In: PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF GEOPHYSICS TO ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS. Oakbrook, Illinois, p.597-609.

Fitts, C. R. 2015. Águas Subterrâneas. Tradução de: Groundwater Science. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

Li, H.; Lu, Q.; Feng, X.; Liu, C.; Liang, W.; Zou, L. 2012. 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), Shanghai, China. Study on the effect of LNAPL pollution to soil complex permittivity. ISBN 978-1-4673-2663-6

Sandmeier, K.J. 2018. REFLEXW Version 8.5.8 for Windows 9x/2000/NT/XP. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data.

Win, Z.; Hamzah, U.; Ismail M. A.; Samsudin A. R. 2011. Geophysical investigation using resistivity and GPR: A case study of an oil spill site at Seberang Prai, Penang. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 57: p.19-25