

Comparação entre fluxos de processamento de GPR para detecção de dutos enterrados para aplicação em engenharia civil

Pedro Henrique Cunha de Macedo, Caroline Rulher Santos, Vasco Alexandre Valente Badagola, LEV Brasil Survey

Copyright 2022, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Curitiba, 04 a 06 de outubro de 2022. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IX 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

Este trabalho consistiu em verificar a aplicabilidade do método GPR (*Ground Penetrating Radar*) para a localização de tubulações metálicas além de comparar dois fluxos de processamento dos dados adquiridos. Com o intuito de alcançar este objetivo foram adquiridas 22 seções dentro da área de estudo, utilizando uma antena de 500 MHz. Em seguida, foi realizada a comparação entre o dado bruto e o resultado dos fluxos de processamento distintos (testes 1 a 15) para validação do melhor método para posterior interpretação dos dados e mapeamento dos dutos enterrados. Após o processamento dos dados, foi feita a análise de todos os radargramas, que no geral apresentaram bons resultados de imagens após aplicação do fluxo de processamento selecionado, e permitiram a identificação da maioria dos dutos subsuperficiais através da presença de feições hiperbólicas, formadas pela difração das ondas eletromagnéticas nestes materiais. Após o estudo, foi possível concluir que o método GPR pode ser bastante útil na localização de tubulações, sobretudo em projetos de engenharia civil, mediante a projetos em áreas onde não se detém nenhum conhecimento prévio da subsuperfície.

Introdução

Este trabalho tem como objetivo principal a localização de dutos em subsuperfície através da aplicação do método GPR, além da comparação entre dois fluxos de processamento de dados e validação do mais interessante para aplicação em engenharia civil. O local de estudo possui uma área de aproximadamente 3.600 m², onde foram realizadas 3 seções principais de GPR transversais a um trecho de 138 metros (Figura 1).

O método GPR foi selecionado para este estudo devido ao baixo custo, por se tratar de um método não invasivo, possuir alta repetibilidade, agilidade e permitir identificação dos dutos devido ao contraste geológico do meio com o material das tubulações. Em estudos com o método GPR, a identificação de dutos enterrados é feita a partir da presença de ondas difratadas caracterizadas por uma hipérbole e com respectivo valor de velocidade que depende da geologia do local, como em Pinto (2010). Em literatura existem inúmeros trabalhos de investigação através do uso de GPR para encontrar dutos enterrados e outras aplicações em engenharia, como é o caso de Czarnowski et al. (1994) e Tong (1993), que detalham investigações utilizando métodos EM (eletromagnéticos), incluindo GPR, para a localização de um gasoduto de

gás natural; e detecção de tubulações, respectivamente. Além disso, o GPR também possui valor de uso em obras de infraestrutura para transporte público, construções e manutenção de ambientes urbanos, com o objetivo de controlar a qualidade e a condição das estruturas.

Localização

A área de estudo está inserida no estado de Sergipe-Brasil, nas proximidades do município de Carmópolis, cuja localização é confidencial. A Figura 1 mostra a disposição dos levantamentos realizados com GPR, assim como suas interpretações no polígono de interesse em trecho de 138 metros. Na Figura 1, as linhas de aquisição apresentam pontos de interpretação que correspondem a (1) dutos mapeados, cuja marcação corresponde a cor verde, e (2) indicativo de duto, cuja resposta no radargrama se deu como ambígua devido a atenuação do sinal.



Figura 1: Localização do trecho mapeado através do método de GPR.

Metodologia/ Problema Investigado

O estudo possui como intuito mapear um trecho de um duto existente cuja localização foi confirmada posteriormente através de uma escavação de conferência. Para a região de estudo, foi escolhido um trecho de 138,2m com a presença de 3 seções de GPR transversais ao sentido do duto para sua identificação e mapeamento. A Figura 2 ilustra o passo a passo do trabalho.

Primeiramente, foi realizado o reconhecimento da área de mapeamento com o objetivo de verificar ocorrência de

indicação de dutos enterrados e planejar a geometria de aquisição. O local consta de informações confidenciais de passagem de dutos esquemáticos pretéritos com deficiência de mapeamento e geoposicionamento. Deste modo, a partir desta primeira etapa, foi criada a geometria de aquisição a ser realizada.

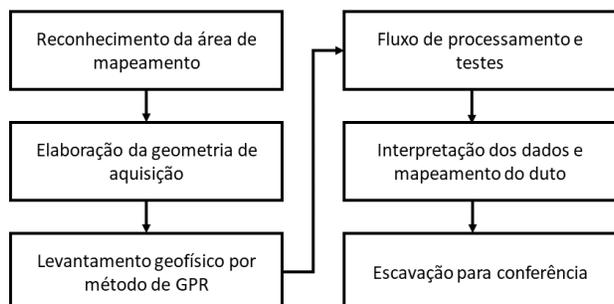


Figura 2: Fluxo de trabalho aplicado durante a execução do projeto.

Em seguida, foi elaborada a geometria de aquisição de forma transversal ao possível alinhamento do duto, como uma tentativa de reduzir perda de energia por espalhamento geométrico do sinal. A aquisição foi realizada utilizando um dispositivo NOGGIN, desenvolvido pela Sensors & Software Inc., de antena com frequência igual a 500MHz. Essa antena promoveu, em situações favoráveis, uma profundidade de penetração da onda eletromagnética com resolução satisfatória em até aproximadamente 5m. Os dados de GPR são apresentados na forma de radargramas, onde através do conhecimento das velocidades de propagação da onda no meio e a partir dos tempos de reflexão da onda, é possível obter a profundidade de cada interface prospectada. Para calibrar a velocidade da onda eletromagnética das seções, foi utilizado o método das hipérbolas onde calcula-se a velocidade da onda de acordo com a forma dos refletores encontrados no radargrama. A velocidade no meio adotada para a zona de estudo foi de 0,12 m/ns.

A próxima etapa consistiu na aplicação de testes de um fluxo de processamento, com o propósito de identificar através da diferença entre os radargramas processados um fluxo que traz melhores resultados para a interpretação dos dutos de interesse.

A filtragem de sinal digital baseou-se na aplicação dos principais filtros temporais *Lowpass*, *Highpass*, *Dewow* e *Vertical*, os filtros espaciais *Background Subtraction* e *Spatial Median*. Também foi aplicado o ganho do tipo *Automatic Gain Control* (AGC), tendo-se assim promovido uma equalização dos dados adquiridos em toda a área de estudo. A diferença entre os parâmetros dos testes propostos está exemplificada na Figura 3.

Sobre os filtros utilizados, o filtro temporal *Lowpass* usa um filtro de fase zero que corta frequências acima da frequência de corte dada F_c , expressa como uma porcentagem da frequência Nyquist ($F_n = 1/(2*dt)$ onde dt é o intervalo de amostragem no tempo). O filtro fornece

um corte suave de frequências acima de $F_c*F_n/100$, com a amplitude na frequência de corte sendo 0,5.

Nome	Lowpass	Dewow	BG subtraction	Highpass	Vertical	AGC	Spatial Median	Time median
Script Base	80	1,33	1 rect	10	0,2 rect	1,5 max 2	3 1	
teste 1	60	1,33	0,9	20	0,3	1,5 max 2	3 1	
teste 2	70	1,33	1,2	20	0,2 rect	1,5 max 2	3 1	
teste 3	80	1,53	1 rect	10	0,2 rect	1,5 max 2	3 1	
teste 4	80	1,8	1	10	0,3	1,5 max 2	3 1	
teste 5	80	1,53	1 rect	10	0,2 rect	1,5 max 2	3 1	
teste 6	80	1,53	1 rect	10	0,2 rect	1,5 max 2	3 1	
teste 7	70	1,53	1 rect	10	0,2 rect	1,5 max 2	3 1	3 1
teste 8	70	1,6	1 BN	20	0,5 BN	1,5 max 2	3 1	
teste 9	80	1,55	1,2 rect	10		2 max 2	4 2	
teste 10	70	1,55	1,5 rect	20	0,2 rect	2 max 2	4 2	
teste 11	80	1,55	1 rect	10	0,2 rect		3 1	
teste 12	80	1,55	1,2 rect	10	0,3 rect	1,5 max 2	3 1	
teste 13	80	1,55	1,0 rect	10	0,2 rect	2 max 2	4 2	
teste 14	80	1,5	1,2 rect	10	0,1 rect	2,5 max 3	3 1	
teste 15	80	1,55	1,2 rect	10	0,2 rect	1 max 2	3 2	

Figura 3: tabela com parâmetros de testes aplicados ao fluxo de processamento.

O filtro *Highpass* funciona da mesma forma, mas corta frequências abaixo da frequência de corte estabelecida, e fornece um corte suave de frequências abaixo de $F_c*F_n/100$. O filtro *Dewow* remove artefatos indesejados de baixa frequência, preservando o sinal de alta frequência. O artefato “Wow” é um sinal de baixa frequência de decaimento lento que pode ser induzido no traço devido à proximidade do transmissor e do receptor e às propriedades elétricas do solo. *Dewow* é um filtro de fase zero que gera a diferença entre o valor do traço e o valor médio do traço sobre a largura da janela que pode ser definida pelo usuário. O filtro temporal vertical aplica um filtro de suavização simétrico (fase zero) em cada traço (no tempo) para remover componentes de alta frequência no sinal. O tipo de filtro (forma) pode ser selecionado para ser retangular, triangular ou Blackman-Nuttall. Neste caso foi utilizado o tipo retangular. A largura do filtro é definida em termos de largura do pulso propagado, onde o filtro de formato retangular gera dados de média móvel sobre a largura do filtro, e suprime os sinais de alta frequência de forma desigual. O filtro de subtração de fundo aprimora os eventos localizados removendo eventos planos de uma seção de GPR. O processo usa o filtro espacial Horizontal para obter uma média local suavizada para subtrair de cada traço. O processo de subtração é útil para remover bandas constantes indesejadas no dado. Já o filtro de mediana espacial aplica um filtro de corte de média alfa espacial (mediana AKA) a um conjunto de dados. Seu objetivo principal é filtrar traços únicos de qualidade ruim dos dados. Traços de qualidade indesejada podem ocorrer por vários motivos, incluindo a coleta de dados realizada em proximidade de um objeto altamente condutor. Os parâmetros de entrada para cada filtro estão listados na Figura 3.

Resultados

A partir da aplicação dos testes para os fluxogramas utilizados, os melhores resultados obtidos foram a partir do teste 1 e teste 15, que melhoram a visualização dos horizontes e foram efetivos na correção de ruídos do dado, de forma a aumentar a relação sinal/ruído.

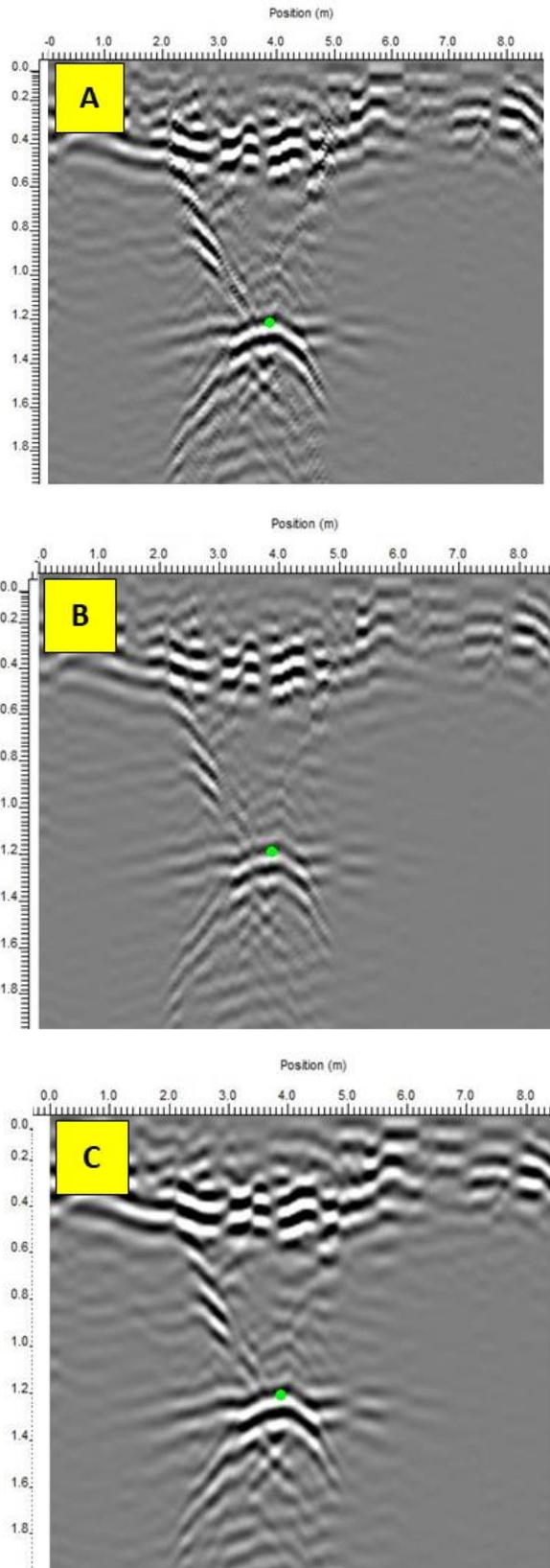


Figura 4: Resultados dos melhores fluxos de processamento. A) Dado bruto; B) Teste 1; C) Teste 15.

Deste modo, tornou-se mais fácil realizar a interpretação de hipérbolas características de dutos metálicos com menor ambiguidade nos radargramas. A Figura 4 apresenta a comparação entre o dado bruto (radargrama A) e os dois melhores resultados obtidos (radargramas B e C, cujos testes correspondem ao teste 1 e teste 15, respectivamente).

Em seguida, a partir da interpretação dos dados filtrados, foi realizada a interpretação das hipérbolas com a indicação de dutos existentes (Marcação em verde na Figura 4), de acordo com a velocidade estabelecida. Dessa forma, foi possível inferir a profundidade e localização dos dutos. A Figura 5 exhibe o resultado para o mapeamento do duto investigado de acordo com as interpretações a partir dos radargramas.



Figura 5: Localização do trecho mapeado e interpretação final do duto através do método de GPR.

A fim de conferir por amostragem, a precisão da detecção e mapeamento dos dutos, foi realizada uma sondagem vertical na linha mapeada, em ponto definido a partir dos radargramas. Foi selecionado 1 ponto de escavação, o qual utilizou de ferramentas manuais, como pás, enxadas e picareta, bem como um trado mecânico, quando necessário. Esse ponto foi selecionado de acordo com as classificações definidas nas interpretações dos radargramas (duto e indicativo). A Figura 5 indica o ponto onde foi realizada a sondagem para conferência do posicionamento obtido através das técnicas utilizadas para o mapeamento em subsuperfície do duto. A mostra a realização da conferência de informações a respeito de profundidade e posicionamento do duto enterrado. As informações foram condizentes com a interpretação pós fluxo de processamento, uma vez que o duto foi encontrado em posicionamento correto determinado a partir das interpretações, sob profundidade de 1,3 metros.



Figura 6: Escavação para conferência do duto: verificação de profundidade e posicionamento.

Discussão e Conclusões

Como já confirmado, o GPR trata-se de um método de investigação indireto fundamentado na reflexão de ondas eletromagnéticas que fornece seções contínuas dos perfis executados, possibilitando o imageamento de solos e rochas que se encontram no subsolo através da inferência sobre a arquitetura deposicional das camadas de solo, assim como identificar padrões que denunciem a presença de estruturas antropogênicas, neste caso, os dutos.

Diante dos dados adquiridos, juntamente com auxílio de informações da área de operação, os resultados mostraram-se satisfatórios e eficientes para o imageamento de dutos soterrados, promovendo assim um produto (radargramas) com resolução adequada até aproximadamente 5 m de profundidade.

A aplicação de diferentes testes na etapa do fluxo de processamento se mostrou de grande valia para a aplicação do método de GPR, providenciando aumento na resolução dos radargramas e aumentando a razão sinal/ruído. Além disso, os testes elaborados providenciaram uma melhoria significativa a ser aplicada aos resultados da empresa LEV Brasil.

De forma geral, o método geofísico envolvido para investigação dos dutos cumpriu o objetivo desenhado no escopo do projeto. Foi possível realizar o imageamento de um duto a partir de sua hipérbole e individualizá-lo, estimando sua profundidade e, por fim, obter seu geoposicionamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a LEV Brasil pela disponibilidade de dados confidenciais para confecção deste artigo, assim como a empresa Sensors & Software Inc. pelo uso do software utilizado para o processamento e testes realizados.

Referências

Czarnowski J.; Heinze S.; Bruhl P.; Staib C.; Robeck M. & Frank G., Fruhwirth R. 1994. Pipeline projects in Germany using GPR. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GPR, Expanded Abstracts, 15, University of Waterloo, p.1107-1113.

Goodman, D., Piro, S., Nishimura, Y., Schneider, K., Hongo, H., Higashi, N., Steinberg, J. and Damiata, B. (2009) GPR Archaeometry, Elsevier. University of wisconsin-Eau Claire, USA. In: Jol, Harry M. (2009) Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, Elsevier. University of wisconsin-Eau Claire, USA.

Jol, Harry M. (2009) Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, Elsevier. University of wisconsin-Eau Claire, USA.

Malagodi, S., Orlando, L. and Piro, S. (1996) Approaches to increase resolution of radar signal, Proceedings of the 6th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR96), Japan, pp. 83-88.

Pinto G. P. 2010. O Método GPR Aplicado a Localização de Tubulações Utilizadas no Mestrado em Geofísica, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, Dissertação de Mestrado, 96p.

Ulriksen, C.P.F. (1982) Application of Impulse Radar to Civil Engineering, Unpublished Ph.D. Thesis, Dept. of Engr, Geol., U. of Technology, Lund, Sweden, p. 175.

Ward, S.H., Phillips, R.J., Adams, G.F., Brown, Jr., W.E., Eggleton, R.E., Jackson, P., Jordan, R., Linlor, W.I., Peoples, W.J., Porcello, L.J., Ryu, J., Schaber, G., Sill, W.R., Thompson, S.H. and Zelenka, J.S. (1972) Apollo Lunar Sounder Experiment, in Apollo 17: Preliminary Science Report, Scientific and Technical Office, NASA, Washington, D.C., p. 22-1 - 22-26.

Yilmaz, O. (2001) Seismic data analysis: Processing inversion and interpretation or Seismic Data, Investigations in Geophysics, Society of Exploration Geophysics, Tulsa, OK, USA.