



Simulação de dados GPR 2-D utilizando o software REFLEXW

Gerson Pompeu Pinto, pompeu@oi.com.br, Marcos Welby. C. Silva, welby@ufpa.br. CPGF-UFPA.

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III 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 aborda a simulação de dados GPR 2D, usando o módulo de modelagem 2D da propagação de ondas eletromagnéticas ou sísmicas baseado no método das diferenças finitas do software REFLEXW. A título de ilustração foram usados dois modelos geológicos simples. Após as simulações com modelos sintéticos, verificou-se a grande utilidade e versatilidade deste software na escolha dos parâmetros adequados a uma aquisição de dados em campo.

INTRODUÇÃO

Os métodos geofísicos são técnicas indiretas de detecção de estruturas em subsuperfície, realizadas através da aquisição e interpretação de dados coletados normalmente na superfície do meio investigado, caracterizando-se, portanto, como métodos não invasivos, ou seja, sem a necessidade de escavações para localização do alvo a ser investigado.

Dentre as técnicas geofísicas, os métodos eletromagnéticos permitem avaliar as condições geológicas através dos contrastes das propriedades geoelétricas inerentes aos materiais da subsuperfície, tais como a condutividade elétrica, a permeabilidade magnética e a permissividade dielétrica. Uma das principais vantagens dos métodos eletromagnéticos é que o processo de indução não necessita de contato direto com o solo, como no caso dos métodos elétricos (TELFORD, 1990). Dentre os métodos eletromagnéticos utilizados para detectar alvos em profundidades pequenas (menos de 10 metros), destaca-se o *Ground Penetrating Radar* (GPR) ou radar de penetração no solo.

Os dados de uma sondagem GPR, podem ser simulados usando-se os mais diversos softwares disponíveis no mercado, entre os quais podemos destacar: ProMax, GeoDepth, Gradix e Reflexw. As simulações de levantamentos geofísicos são de grande relevância para se reproduzir resultados que podem ser obtidos em uma situação concreta de campo, pois estes ajudam na escolha adequada dos parâmetros que serão utilizados durante a aquisição, tais como espaçamento fonte-receptor, frequência das antenas e localização dos perfis. Neste trabalho utilizaremos o Reflexw ilustrar todas as

etapas de uma simulação de aquisição de dados GPR modelando dois ambientes geológicos simples.

METODOLOGIA

O Radar de Penetração no Solo (*Ground Penetrating Radar* - GPR) ou simplesmente o acrônimo GEORADAR é uma técnica de investigação geofísica criada em 1904 pelo engenheiro Christian Hülsmeier (Reynolds, 1998). O GPR foi inicialmente desenvolvido para fins militares na segunda guerra mundial. Era usado para localizar minas enterradas no solo e galerias subterrâneas. Após anos de estudos e aprimoramentos dos equipamentos o GPR tornou-se um dos métodos mais eficazes para sondagens e investigações em pequenas profundidades. Hoje a técnica possui uma grande aplicação nos mais diversos campos científicos como geologia, geotecnia, estudos ambientais (determinação de fluidos contaminantes), engenharia e arqueologia. O método é fundamentado na propagação de ondas eletromagnéticas de altas frequências, na faixa de 10 MHz a 1 GHz (DAVIS; ANNAN, 1989). O sistema de GEORADAR é formado por um gerador de pulso eletromagnético (PEM), uma antena de emissão e outra de recepção – podendo ser uma única antena com as duas funções –, e uma unidade de controle para armazenamento de dados da sondagem.

Quando um PEM é emitido e atinge a interface geológica com propriedades eletromagnéticas diferentes, uma parcela da onda eletromagnética é refletida e captada pela antena receptora que converte o sinal em energia elétrica e o transmite para a unidade de controle, onde é amplificado e armazenado em um computador (Figura 1).

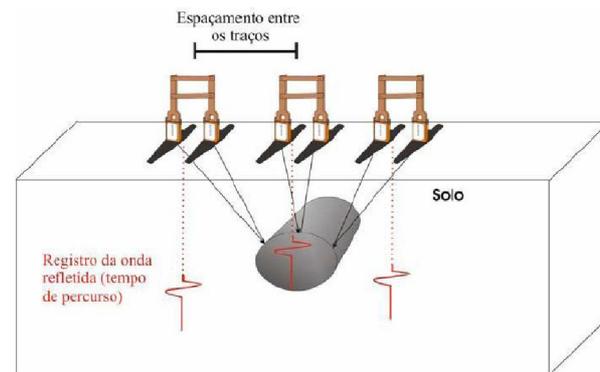


Figura 1 – Onda eletromagnética refletida pelo corpo na subsuperfície (RODRIGUES, 2004).

As profundidades de investigação e a resolução do método dependem das propriedades eletromagnéticas do

meio geológico e do comprimento da onda eletromagnética que se propaga no terreno. O índice de percepção de objetos no solo está relacionando com o seu tamanho, a orientação em relação às antenas, ao contraste entre os meios, ao ruído associado à radiofrequência e outras interferências. A profundidade de investigação pode variar desde menos de um metro, em terrenos muito argilosos, a até quilômetros no gelo polar.

O REFLEXW

O Reflexw é uma nova versão Windows TM 9x/NT do programa REFLEX-DOS, pertencente à Faculdade de Geofísica/Instituto de Geociências da UFPA, utilizado para modelar, processar e interpretar dados GPR (Ground Penetrating Radar) e Sísmicos (reflexão e refração), sendo constituído por 5 módulos:

- I. Análise de dados 2D. As etapas de edição, processamento do sinal e apresentação das seções processadas são realizadas através deste módulo;
- II. Análise de Velocidade CMP (Common Mid Point), permite a conversão do tempo em profundidade 1D através das velocidades;
- III. Interpretação de dados 3D;
- IV. Modelagem para a simulação 2D da propagação de ondas eletromagnéticas ou sísmicas baseado no Método das Diferenças Finitas;
- V. Análise de tempo de percurso 2D, o qual permite analisar e interpretar as primeiras refrações sísmicas.

Considerando os objetivos propostos nesse trabalho, os estudos foram concentrados no módulo de modelagem de dados 2D.

APLICAÇÕES

Como forma de ilustrar as aplicações do software na simulação de dados GPR, vamos propor dois exemplos.

Modelo A

Um exemplo simples é o caso de um bloco de calcário, localizado a um metro de profundidade em solo argiloso. Para este modelo vamos considerar um bloco retangular maciço Figura 2 de dimensões 1 m x 0,5 m.

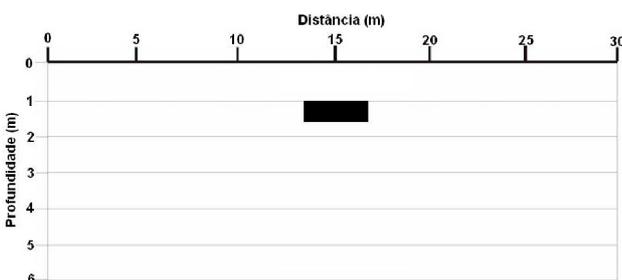


Figura 2 – Bloco maciço de calcário.

Os passos a serem seguidos na simulação são os seguintes:

Acesse o módulo **Modelling** (Figura 3):

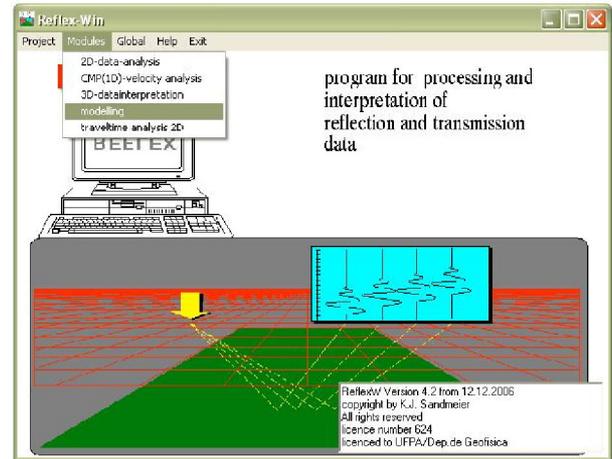


Figura 3 – Menu de modelagem.

Após a abertura da janela (Figura 4), iremos introduzir o nome do arquivo e os dados da camada, como segue:

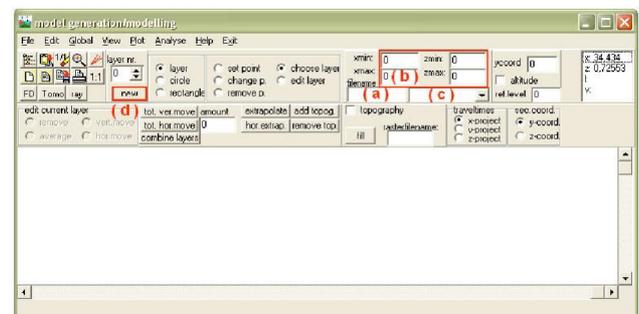


Figura 4 – Nome do arquivo e dimensão da camada.

- a) Nomear o arquivo.
- b) Entrar com as coordenadas do modelo da camada (*background*). Vamos considerar os seguintes dados: xmin = 0 m, xmax = 30 m, zmin = 0 m e zmax = 6 m.
- c) Escolher o tipo de onda para a simulação. Para nossa aplicação (GPR) a onda é eletromagnética.
- d) Selecionar o item **layer** e ativar a opção **new** (o número de camada mudará para n+1, sucessivamente).

Uma janela se abrirá (figura 5) para que os parâmetros da camada sejam ajustados. Para o exemplo (camada de solo argiloso), utilizar os valores da tabela 4.1.a. Após introduzir os valores da cada, clique em **take over** para executar a ação e feche a janela.

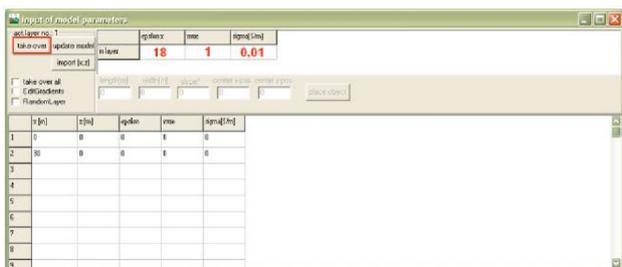


Figura 5 – Dados da camada argilosa.

e) Selecionar o item **rectangle** (forma do bloco de calcário). Uma janela (Figura 6) se abrirá para que os parâmetros (Tabela 1) sejam colocados e o alvo seja construído.

Tabela 4.1.a – Propriedades físicas das substâncias usadas nas modelagens (Borges, 2007).

Material	ϵ_r	μ_r	σ (S/m)
Solo argiloso (<i>background</i>)	18	1	10^{-2}
Plástico	3.3	1	0
Água fresca	81	1	5×10^{-4}
Calcário	4	1	0.5

Composição do bloco de calcário (*in rectangle*): $\epsilon_r = 4$, $\mu_r = 1,0$ e $\sigma = 0,5$. Camada abaixo (solo argiloso) do bloco (*out*): $\epsilon_r = 18$, $\mu_r = 1,0$ e $\sigma = 0,01$. Dimensões e coordenadas do bloco de calcário: **length** corresponde ao largura = 1 m e o **width** à altura = 0,5 m, do bloco. **center x-pos.** = 15 m e **center z-pos.** = 1,25 m.



Figura 6 – Dados do bloco e camada argilosa abaixo do bloco.

Após ajustar todos os parâmetros ativar os itens **take over all** e **place object**. Retornar ao menu principal da modelagem.

f) No menu principal (figura 7) ativar a opção **FDGroupBox** e entrar com os parâmetros necessários para a simulação numérica:

- DeltaX:** 0,05
- DeltaT:** 0,0943
- Frequency (MHz):** 100
- TMax:** 100
- Boundary conditions:** lin. absorbing-range
- Source type:** exploding reflector
- Signal type:** kuepper
- Excitation:** EY

Registration: EY
Output type: single line
rec x start: 0
rec x end: 30
rec z start: 0
rec z end: 0
time scaling: 1

g) Ativar a opção **StartFD** para iniciar o programa FDEMSEIS.EXE.

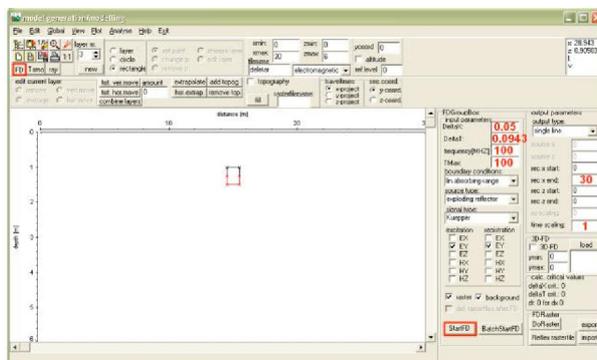


Figura 7 – Ajustes para a malha 2D.

Após esses procedimentos vamos acessar o módulo **2D data-analyses** (Figura 8).

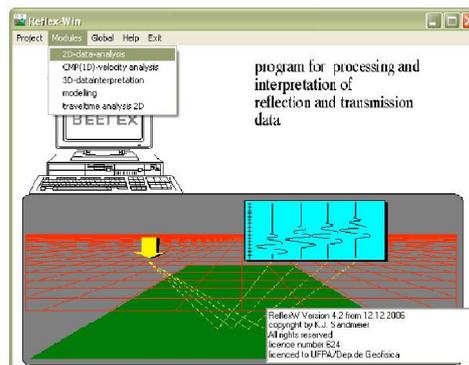


Figura 8 – Processar os dados da modelagem.

g) Para visualizar o resultado (Figura 9) da simulação numérica através da opção **file – raw**.

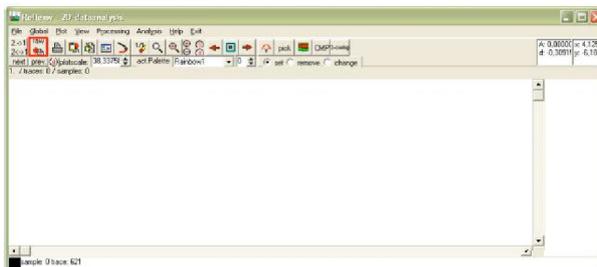


Figura 9 – Abre os arquivos com os dados.

h) Após esse procedimento, teremos mais uma janela (Figura 10).



Figura 10 – Abrir os dados do modelo a serem processados.

i) Agora selecione o arquivo com os dados os dados e clique em abrir. Os dados serão processados e teremos o seguinte radargrama (Figura 11):

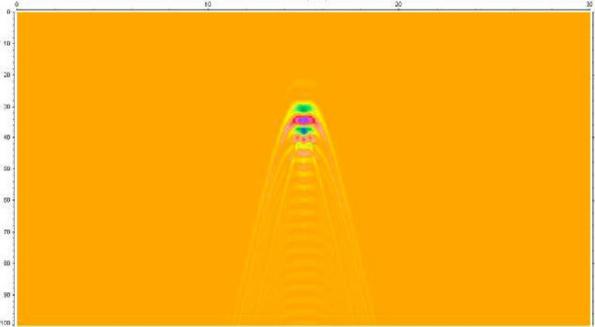


Figura 11 – Radargrama assinalando a presença do bloco de calcário.

Modelo B

O outro exemplo que iremos apresentar é o caso de um tambor plástico preenchido com água fresca (Figura 12), de dimensões 0,69 m x 0,47 m e 0,175 cm de espessura, localizado a 1 m de profundidade em solo argiloso.

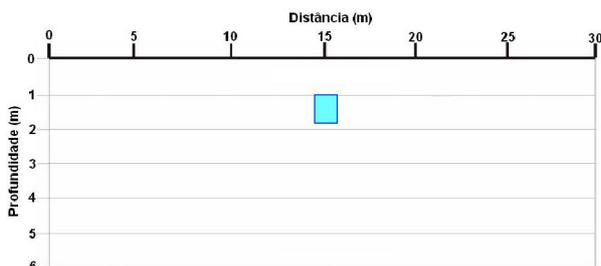


Figura 12 – Tambor plástico preenchido com água fresca.

No módulo **Modelling**, iremos repetir os passos de (a) ao (d), da aplicação anterior.

e) Selecionar o item **rectangle** (forma do tambor plástico). Uma janela (Figura 13) se abrirá para que os parâmetros sejam colocados e o alvo seja construído.

Os valores usados para as propriedades físicas são mostrados na Tabela 4.1.a e 4.1.b.

Composição do tambor plástico (**in rectangle**): $\epsilon_r = 3,3$, $\mu_r = 1,0$ e $\sigma = 0$. Camada abaixo (solo argiloso) do tambor (**out**): $\epsilon_r = 18$, $\mu_r = 1,0$ e $\sigma = 0,01$. Dimensões e coordenadas do tambor plástico: **length** corresponde ao diâmetro = 0,47 m e o **width** à altura = 0,69 m. **center x-pos.** = 15 m e **center z-pos.** = 1,345 m.

Após ajustar todos os parâmetros ativar os itens **take over all** e **place object**.



Figura 13 – Dados do tambor plástico e da camada argilosa abaixo do tambor.

Ainda na mesma janela (Figura 14), iremos editar os valores do retângulo menor com os parâmetros correspondentes ao conteúdo de água fresca.

A diferença entre a caixa menor e a maior baseia-se na espessura do material, para o caso do tambor plástico, 0,175 cm.

Composição do conteúdo – água fresca (**in rectangle**): $\epsilon_r = 81$, $\mu_r = 1,0$ e $\sigma = 0,0005$. Tambor plástico (**out**): $\epsilon_r = 3,3$, $\mu_r = 1,0$ e $\sigma = 0$.

Dimensões e coordenadas – conteúdo do tambor plástico:

length corresponde ao diâmetro = 0,46825 m e o **width** a altura = 0,68825 m. **center x-pos** = 15 m e **center z-pos** = 1,345 m.

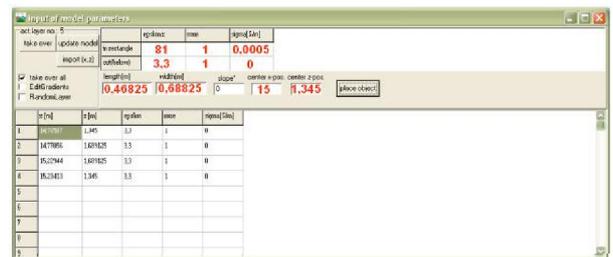


Figura 14 – Dados da água fresca e da camada do tambor plástico abaixo da água.

f) Ativar a opção **FDGroupBox** (figura 15) para entrar com os parâmetros necessários para a simulação numérica:

- DeltaX:** 0,05
- DeltaT:** 0,0943
- Frequency (MHz):** 100

TMax: 100

Boundary conditions: lin. absorbing-range

Source type: exploding reflector

Signal type: kuepper

Excitation: EY

Registration: EY

Output type: single line

rec x start: 0

rec x end: 30

rec z start: 0

rec z end: 0

time scaling: 1

g) Ativar a opção **StartFD** para iniciar o programa FDEMSEIS.EXE.

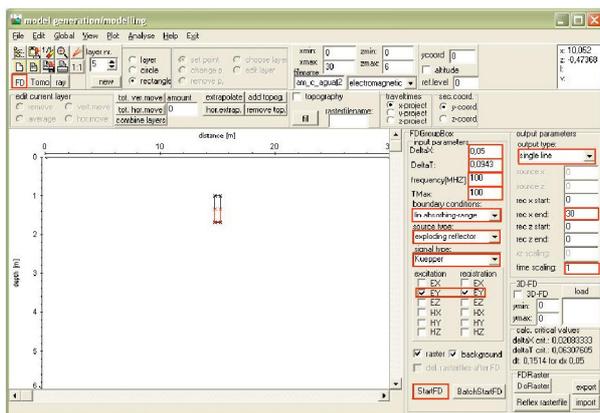


Figura 15 – Ajustes para a malha 2D.

Após esses procedimentos vamos acessar o módulo **2D data-analyses**.

h) Para visualizar o resultado da simulação numérica através da opção **file = raw**.

Após esse processo podemos confirmar o resultado através do radargrama ilustrado na Figura 16.

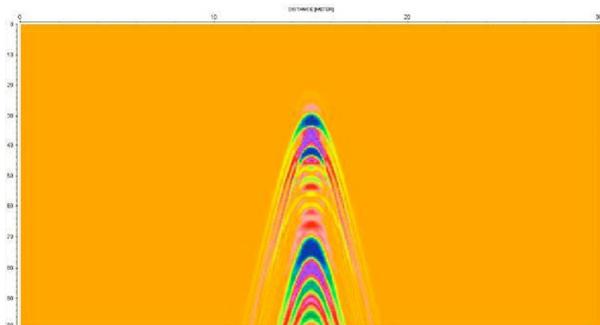


Figura 16 – Radargrama assinalando a presença do tambor plástico preenchido com água fresca.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O módulo de modelagem para a simulação 2D da propagação de ondas eletromagnéticas ou sísmicas baseado no método das diferenças finitas do software REFLEX, mostrou-se muito eficiente, pois oferece ao

usuário uma interface de operacionalização simples e um ganho significativo de tempo no processamento dos modelos geológicos. As simulações realizadas através das modelagens numéricas GPR 2D, mostraram-se relevantes, pois auxiliam na escolha dos melhores parâmetros a serem utilizados em uma aquisição de dados em campo. Isso é possível graças aos contrastes fornecidos através dos radargramas, entre as propriedades físicas dos alvos enterrados e a camada da subsuperfície (background).

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Prof. Marcos Welby (CPGF/UFGA) pela parceria nesse trabalho e ao Curso de Pós-graduação em Geofísica da UFGA.

REFERÊNCIAS

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. Tese de Doutorado, IAG/USP. São Paulo, 260p.

DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, v. 37, p. 531-551. 1989.

REYNOLDS, J. M. (1998) - An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons.

RODRIGUES, S. I., 2004. Caracterização GPR de Tambores Metálicos e Plásticos: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP. *Dissertação de mestrado*, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 102p.

SANDMEIER, K.J., 2006. ReflexW Version 4.2. Program for processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Manual do Software. Karlsruhe, Germany, 391p.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E., 1990. *Applied Geophysics*. Second Edition, Cambridge University Press, United Kingdom, 770p.