

## Visualização de Dados Obtidos por Ground Penetrating Radar: Estudo de um caso \*

Vitor Simões Ribeiro <sup>1</sup>, Beatriz Sousa Santos <sup>1</sup>, Fernando Almeida <sup>2</sup>, Ana Maria Tomé <sup>1</sup>

1- Dep. de Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro

2- Dep. de Geociências, Universidade de Aveiro

**Resumo** – Neste trabalho apresenta-se o estudo de um caso correspondente à visualização de dados de um volume de subsolo, obtidos a partir de Ground Penetrating Radar (GPR). O estudo deste caso permitiu mostrar o interesse que a visualização em volume deste tipo de dados apresenta na fase de interpretação geofísica, bem como obter uma maior compreensão das questões envolvidas nesta visualização.

**Abstract** - A case study corresponding to the visualization of an underground volume data, obtained by Ground Penetrating Radar (GPR), is presented. This case study intended to show the interest for geophysic data interpretation provided by volume visualization of this type of data and allowed a better understanding of the issues involved.

### I. INTRODUÇÃO

O Ground Penetrating Radar (GPR) consiste num método de obtenção de dados correspondentes às estruturas existentes no subsolo e que pode ser usado com bastante interesse em estudos geofísicos para vários fins, como por exemplo em estudos de avaliação do potencial arqueológico e outros [1].

Os dados do subsolo, adquiridos através deste método por sistemas dedicados, são apresentados aos utilizadores como um conjunto de imagens correspondentes a secções verticais que justapostas definem o volume do subsolo em análise e que contêm estruturas de interesse tridimensionais.

A forma que os geofísicos utilizam habitualmente para analisar este tipo de dados e deles extrair a informação que necessitam sobre as estruturas existentes no subsolo consiste em inspeccionar cada uma das secções verticais obtidas, o que implica a capacidade de reconstrução de um volume a partir das suas secções. O desenvolvimento desta capacidade exige em geral bastante treino e esforço, à semelhança do exigido, por exemplo, aos radiologistas na análise de exames de TAC (Tomografia Axial Computorizada).

Seguindo a tendência verificada nos últimos anos de utilizar cada vez mais gráficos tridimensionais e no sentido de minorar o esforço necessário na apreensão de

informação tridimensional de interesse contida nos dados de GPR, surgiu a ideia de utilizar técnicas de visualização em volume, cada vez mais comuns na visualização de numerosos tipos de dados [2,3].

Para visualizar os dados de GPR em volume e uma vez que o primeiro objectivo do trabalho consistia em averiguar do interesse que a visualização em volume deste tipo de dados poderia ter para os geofísicos, optou-se por utilizar um software comercial de visualização de dados IDL (Interactive Data Language), da Research Systems que fornece a possibilidade de visualizar isosuperfícies e cortes a partir de dados definidos por voxels (elementos de volume) [4,5,6,7].

Utilizando o software escolhido e os dados de GPR correspondentes a um estudo de avaliação do potencial arqueológico do subsolo da Praça 1º de Maio em Évora, realizou-se um “estudo de caso” da visualização em volume destes dados.

Nas secções seguintes serão descritos os métodos utilizados na obtenção dos dados, os métodos de visualização de alguns resultados, conclusões e perspectivas de trabalho futuro. Incluem-se também breves descrições dos princípios de funcionamento do GPR e das capacidades do IDL.

### II. OBTENÇÃO DOS DADOS

#### A. Princípio de Funcionamento do GPR

O princípio de funcionamento deste método baseia-se na determinação do tempo que um pulso electromagnético demora no trajecto entre uma antena emissora e uma antena receptora [1].

As ondas propagadas no meio são, genericamente, de vários tipos:

- Onda-Ar, à velocidade 0,3 m/ns, que possibilita o ajuste do tempo zero permitindo assim eliminar atrasos ou avanços no tempo de disparo;
- Onda-Terreno, viaja junto à interface solo-ar e apresenta velocidade característica do meio;

\* Este trabalho foi executado no âmbito da disciplina de Visualização, do Mestrado em Electrónica e Telecomunicações, durante o ano lectivo de 1998/99.

- Onda Reflectida, viaja com a velocidade característica do meio e resulta da reflexão da emissão da antena quando ocorrem contrastes na permitividade do meio. A atenuação destas ondas depende da resistividade do meio. Estas propriedades eléctricas estão intimamente ligadas à quantidade de água existente no meio.

A conversão tempo / distância é um dos passos finais do processamento pós-aquisição, para o qual é necessário o conhecimento das velocidades de propagação. Estas foram obtidas analisando os eventos relacionados com difracções obtidas.

O equipamento utilizado neste trabalho foi o PulsekkoIV (Sensores e Software) com antenas de 100MHz.

### B. Pré-processamento dos dados

O processamento prévio dos dados foi realizado com o software GRADIX da InterPex e efectuado nas seguintes fases [9] :

- \* Análise do espectro de frequências para se conhecerem quais as frequências presentes no radargrama.

- \* Filtro Passa-Alto (DeWow) com frequência de corte de 20MHz, para eliminar o efeito do ruído de baixa frequência proveniente do próprio equipamento.

- \* Correção da Deriva / Ajuste do Tempo Zero, o que permite sincronizar os traços através das chegadas da Onda-Ar e estabelecer o tempo no início das chegadas.

- \* Filtro Passa-Banda (Butterworth) entre 60 e 120 MHz, valores estimados através de uma nova análise espectral e com o intuito de reduzir quer o conteúdo em baixa frequência ainda existente bem como o ruído proveniente das altas frequências.

- \* Análise de velocidades feita através do ajuste das hipérbolas de difracção, sendo as velocidades encontradas da ordem dos 0,12 m/ns.

- \* Conversão tempo/distância, baseada num modelo de velocidades uniforme tendo sido utilizada a velocidade de 0,12 m/ns encontrada no passo anterior do processamento.

- \* Correção estática ou topográfica, com o fim de representar os traços na forma posição versus profundidade (representação obtida através do passo anterior) ajustados às variações topográficas que se verificam ao longo do perfil.

É sabido que na propagação de uma onda electromagnética existe atenuação quer por espalhamento geométrico quer por absorção de energia pelo meio. Assim, aos eventos mais profundos, uma vez que estão associados a uma distância de propagação maior do que a dos superficiais, corresponderá uma maior perda de energia bem como uma maior diminuição na sua intensidade. A forma de contornar este efeito resultante das perdas de energia é através da aplicação de ganhos. Optou-se por um ganho variável denominado ganho exponencial/esférico que pretende eliminar a atenuação esférica devida ao espalhamento geométrico. Desta forma, as imagens põem em evidência uma zona de atenuação que no geral corresponde ao substracto rochoso, que por estar

meteorizado e impregnado de água cria condições especiais para a atenuação do sinal fazendo desaparecer eventos profundos, da imagem.

Após os processamentos anteriores sobre os dados obtidos por medição, obtiveram-se 22 ficheiros em formato BMP que correspondiam às 22 secções verticais espaçadas de 2 metros (distribuídos como se pode ver na figura 1), com a informação a visualizar em volume.

## III. VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

### A. O software de visualização

Como referido anteriormente foi utilizado o IDL (Interactive Data Language) [5,6], desenvolvido pela Research Systems. Este software de visualização pode ser considerado do tipo 4GL Programming Language (tal como o MATLAB da Mathworks) [2] e proporciona um ambiente de computação completo e interactivo para a análise e visualização de dados. Integra uma linguagem poderosa (completa e estruturada) orientada ao *array*, com numerosas capacidades de análise matemática e de *display* gráfico. A utilização deste ambiente pode ser feita de uma forma interactiva ou para criação de funções, procedimentos ou aplicações. As operações e funções actuam directamente sobre os *arrays* (sem a utilização de *loops*). Permite, entre outras, a visualização bidimensional, multidimensional e de volumes, bem como visualização e processamento de imagens, animação e interpolação de superfícies.

Outras características importantes deste ambiente de visualização gráfica de dados são a existência de funções (algoritmos) embebidas para análise numérica e estatística dos dados, a flexibilidade em termos de entrada e saída de dados (ex. BMP, GIF, JPEG, CDF, HDF, etc.), facilidade na criação de interfaces de utilizador, através duma biblioteca de objectos gráficos simples e a portabilidade dos programas IDL entre diferentes computadores com diferentes sistemas operativos.

### B. Obtenção do volume

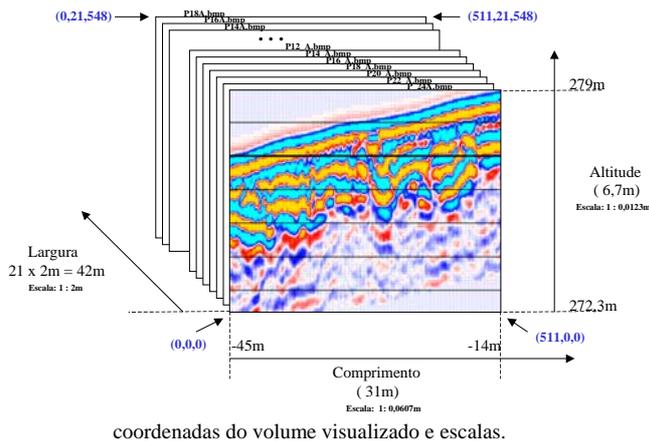
Os ficheiros em formato BMP, que constituíam as 22 secções distanciadas de 2 metros, tinham um tamanho incomportável para serem directamente processados pelo IDL (versão de estudante). Além do tamanho, estavam em formato "*landscape*" com grelhas numeradas e texto adicional. Sendo assim o primeiro processamento dos bitmaps com vista a obter o volume a visualizar, foi eliminar o texto e passar as imagens para formato "*portrait*" com o comprimento das amostras segundo o eixo dos X e a sua altitude segundo o eixo dos Y.

Embora todas as secções tivessem a mesma coordenada X (comprimento) inicial, o valor final não era o mesmo. Por esta razão foi necessário alinhar todas as amostras pelo menor valor máximo de X (menor comprimento máximo),

já que não existia informação para um volume maior. Existiam também áreas sem interesse, que faziam parte dos ficheiros BMP iniciais, que foram eliminadas (área acima do solo e área de profundidade onde a informação obtida era uniforme ou não relevante para o estudo).

Após este primeiro processamento da informação resultou um conjunto de 22 secções com dimensões de 513 por 550 pixels em formato BMP. Estas dimensões correspondem a uma área de 6,7 metros de altitude por 31,0 metros de comprimento como está representado na figura seguinte.

Fig. 1 – Disposição das diferentes secções com as correspondentes



Embora o formato inicial das secções seja de 24 bits por pixel, de facto apenas são utilizadas 7 cores (Preto, Azul, Cyan, Roxo, Vermelho, Amarelo e Branco). Devido a limitações do IDL as secções resultantes deste primeiro processo foram guardadas com a definição de 256 cores, que é a resolução máxima que esta versão de IDL suporta mas que, como já foi referido, é mais do que suficiente.

O programa IDL inclui a função `READ_BMP` para leitura de ficheiros de formato BMP, como o próprio nome indica. Desta função resultam vários *arrays* dos quais três com o conteúdo relativo às três cores do formato RGB. No entanto para a visualização do volume é necessário "construir" um *array* tridimensional único com os voxels codificados nas diferentes cores. A partir dos valores pertencentes aos três *arrays* das cores primárias de cada corte construiu-se um *array* em que o valor de cada pixel resulta da média pesada do valor de cada cor primária, como se mostra no código seguinte:

```
TV, READ_BMP(FILEPATH('PFx.bmp'),
SUB=['examples', 'ver5']), R, G, B)
IMAGEMx = TVRD()
R = TVRD(0, 0, 512, 549, CHANNEL=1);
G = TVRD(0, 0, 512, 549, CHANNEL=2);
B = TVRD(0, 0, 512, 549, CHANNEL=3);
IMAGEMx = FLTARR(512, 549)
FOR X=0,511 DO BEGIN FOR Y=0,548 $
DO BEGIN
IMAGEMx(X, Y) = ((3*R(X, Y)+2*G(X, Y)+B(X, Y))/6)
```

Fig. 2 - Código IDL correspondente a obtenção dos *arrays* correspondentes a cada secção.

Após a obtenção dos *arrays* correspondentes às 22 secções, foi necessário criar o *array* tridimensional de 512x22x549 voxels e preencher o seu conteúdo através dos comandos indicados na figura 3.

```
DO x = 0 to 21
y = (22 - x);
Array_3D_Volume = FLTARR(512, 22, 549)
FOR X = 0, 511 DO BEGIN FOR Z = 0, 548 $
DO BEGIN Array_3D_Volume(X, x, Z) = IMAGEMy(X, Z)
END;
```

Fig.3 - Código IDL correspondente a obtenção do *array* que contém o volume

Após o processamento descrito conseguiu-se obter um *array* tridimensional em formato reconhecido pelo IDL para a visualização do volume que os dados representam.

### C. Técnicas de visualização

A visualização do volume no IDL pode ser conseguida através de dois métodos. O primeiro que foi experimentado é o chamado método directo e consiste em executar um conjunto de comandos, que podem ser guardados num ficheiro para posterior execução, e cujo resultado é uma imagem final. Este método que tem a possibilidade de actuar em mais características da imagem resultante, embora à custa de um aumento na complexidade do código, revelou-se lento e por isso pouco interactivo. Uma vez que um dos objectivos deste trabalho era a pesquisa no volume visualizado de estruturas enterradas, ou seja, pretendia-se uma actuação dinâmica sobre a visualização do volume, optou-se pelo segundo método que consiste na utilização da função embutada `SLICER`.

A função `SLICER` do IDL permite a visualização de volumes criados a partir de um *array* de dados do mesmo volume. Este *array*, como foi atrás referido, contém a informação de 22 secções desse mesmo volume. A necessária interpolação dos dados utiliza o método bilinear na criação das isosuperfícies do volume em causa. Esta aplicação permite a visualização de cortes perpendiculares às secções. É também possível visualizar um volume interior ao volume original, assim como visualizar as faces originadas pela extração de um determinado volume interno.

Além destas acções sobre o volume, é também possível rodar o volume para qualquer posição que se pretenda assim como alterar a codificação das cores e determinar o valor de um determinado pixel, utilizando o "mouse". É ainda possível a utilização de "macros" (gravação num ficheiro dos diferentes comandos `SLICER` executados para sua reprodução posterior).

A sequência de comandos IDL para a chamada a esta função `SLICER` é mostrada na figura 4.

```

/* Identificação da variável A como contendo
os dados do volume a visualizar*/
COMMON_VOLUME_DATA,A ;
A=Array_3D_Volume ; Cópia para A do array
tridimensional do volume em causa
SLICER ; Chamada à função SLICER

```

Fig. 4- Código IDL que prepara e executa a função embbedida SLICER.

#### IV. RESULTADOS

Mostra-se na figura 5 alguns resultados obtidos utilizando os métodos descritos.

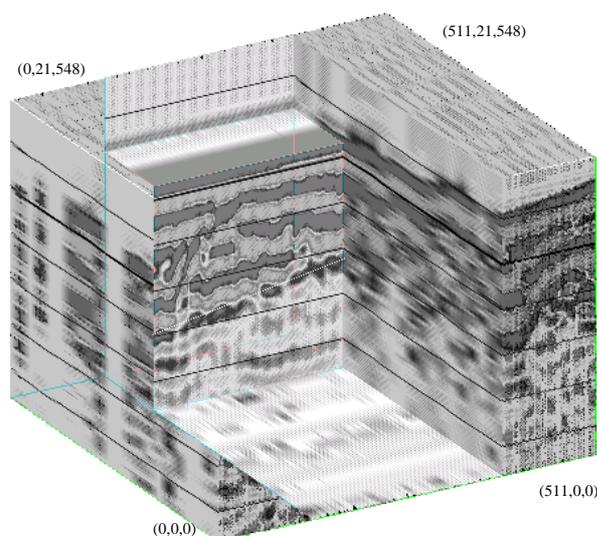


Fig. 5 - Volumes com cortes  
(a tracejado o limite entre o solo e o substrato)

Estes resultados permitem definir com clareza a continuidade do substrato rochoso (meio com perdas devido à diminuição da resistividade eléctrica) assim como revelam uma estratigrafia complexa do solo (aterros) que se desenvolve superiormente.

#### V. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Os dados de GPR são normalmente adquiridos com uma densidade de amostragem entre secções bastante inferior aquela obtida dentro de cada secção, o que significa que se considerarmos o conjunto das secções como um volume este será não isotrópico. Os dados utilizados tinham também esta característica (amostras separadas por 20cm dentro de cada secção e secções separadas por 2 metros). Esta situação aliada ao facto da função SLICER utilizar uma interpolação bilinear para a criação de isosuperfícies originou os resultados anteriores que poderão ser melhorados com uma diminuição de espaçamento entre secções adquiridas ou utilizando outros métodos de interpolação dos dados originais. Este pré-processamento

deverá originar um maior número de pontos interpolados entre secções, aumentando assim a resolução segundo esse eixo e produzindo um volume menos anisotrópico. Outro aspecto a melhorar no pré-processamento dos dados está relacionado com a melhoria das imagens correspondentes às várias secções.

O próprio software utilizado, possivelmente por não ser a última versão (a versão actual é a IDL 5.2) e limitada (versão estudante) revelou-se lento e pouco flexível no aspecto de permitir voltar atrás após várias interações com o volume em causa. Por exemplo, se depois de executar vários cortes ortogonais no volume se pretender voltar à situação inicial é necessário proceder ao cálculo dos vértices e polígonos, etc até ao *display* do volume, quando um "redraw" da transformação inicial das isosuperfícies seria muito mais rápido.

Apesar das limitações apontadas, os resultados obtidos podem considerar-se encorajadores, perspectivando um desenvolvimento futuro da visualização de volumes deste tipo de dados. No entanto seria de todo o interesse averiguar da utilidade que este tipo de visualização tem para os geofísicos que utilizam dados de GPR, de forma mais sistemática, por exemplo através de um conjunto de experiências controladas.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Davis, J.L. and Annan A.P., *Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soils and Rock Stratigraphy*, Geophysical Prospecting, vol.37, 1989
- [2] Brown, J., R. Earnshaw, M. Jern, J. Vince, *Visualization, Using Computer Graphics to Explore Data and Present Information*, John Wiley, 1995
- [3] Keller, P., M. Keller, *Visual Cues*, IEEE Comp. Society Press, 1993
- [4] Brodlié, K., L. Carpenter, R. Earnshaw, J. Gallop, R. Hubbard, A. Mumford, C. Osland, P. Quarendon, *Scientific Visualization, Techniques and Applications*, Springer Verlag, 1992
- [5] IDL Basics ver.4.0 - Research Systems, Inc., April, 1995
- [6] IDL User's Guide ver.4.0 - Research Systems, Inc., April, 1995
- [7] <http://www.rsinc.com/> (site da Research Systems, Inc.)
- [8] <http://www.physics.oberlin.edu/> (site do Oberlin College Physics)
- [9] Gradix, User's manual 1996