



## Análise de first breaks em medidas GPR de poço

Elias da Conceição<sup>1,2</sup>, J. E. Musa<sup>1</sup>, L. Peche<sup>1</sup> e J. M. Travassos<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Observatório Nacional, <sup>2</sup>UERJ.

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 apresenta um algoritmo para calcular os first breaks de um conjunto de traços que compõem um run. O método mostrou-se eficiente e pode ser implementado como primeiro passo para uma inversão tomográfica, suprimindo em grande medida as dificuldades no processamento dos dados devidas à geometria do levantamento.

### Introdução

A tomografia sísmica entre poços (Crosswell) é uma técnica utilizada com frequência em geociência para caracterizar reservatórios de petróleo, em aplicações geotécnicas e na mineração. Uma técnica similar, a tomografia GPR entre poços é usada em inúmeros campos de atividade: mineração, engenharia civil, hidrogeologia, arqueologia, teste não-destrutivos e na área ambiental (e.g., Kim et al., 2004; Hollender et al., 1999).

A tomografia GPR pode fornecer informações sobre as propriedades elétricas da subsuperfície, usando a velocidade ou o fator de atenuação da inversão tomográfica. Devido às características do sinal eletromagnético no meio geológico a inversão tomográfica não é um problema direto (Peterson, 2001; Maurer and Green, 1997; Vasco et al., 1997) sendo um problema de inversão mal-posto.

Existem muitas desvantagens na geometria do levantamento de poço se comparado com o levantamento GPR realizado na superfície. A imagem da tomografia de radar tem resolução limitada, porque a propagação do sinal eletromagnético é fortemente atenuado próximo à superfície, com uma dispersão significativa das altas frequências.

A tomografia GPR nos fornece uma descrição em alta resolução das formações das rochas no espaço entre os poços.

O dado fundamental no levantamento tomográfico é o tempo de viagem da onda até o encontro da antena receptora, conhecido como a primeira queda do sinal ou simplesmente first break. A determinação do first break é dificultada pelos ruídos no traço.

Neste trabalho discutimos uma metodologia que acompanhe as características específicas do dado para determinar o first break que será posteriormente utilizado como ponto inicial para realizar a inversão tomográfica.

### Coleta de Dados

Os dados foram coletados na região de Florianópolis no estado de Santa Catarina. O local está constituído por deposição de areia não consolidada, proveniente de várias origens, marinha, fluvial e eólica. O solo é formado por grão finos de cor marrom com menos de 5 % de silte e argila e um fluxo de 2.8 m/yr e uma porosidade efetiva de 0.2.

A antena transmissora foi colocada em um dos poços e a receptora no outro, separados a uma distância de 20 m. A aquisição dos dados foi feita em runs sucessivos, mantendo a antena transmissora fixa e movimentando a receptora a cada 0.2 m superfície abaixo até atingir uma profundidade de 9.8 m. Quando o receptor atingi o ponto mais profundo, o transmissor e movido 0.2 m para baixo e o processo se repete, agora subindo o receptor até completar outro run. Este processo foi repetido até que o transmissor atingisse a profundidade de 9.8 m. Nós consideramos estes runs adequados para varrer a região de interesse. Nós nos referimos a este procedimento de campo como crosshole, ou X-H. Ver Figura 1.

As medidas de crosshole tiveram 46 runs com 46 traços cada, totalizando 2126 traços. Para este fim foi usado equipamento MALA com antenas de 100 MHz e um time window de 700 ns.

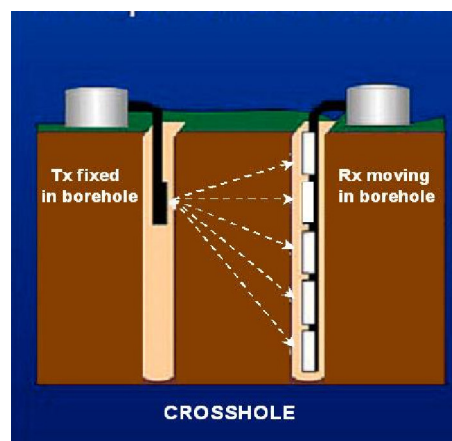


Figura 1 – Procedimento de coleta de dados. Os poços estão a uma distância de 20 m, entre eles. A figura mostra um run X-H.

## Resultado e Discussão

A qualidade das medidas realizadas com GPR no domínio do tempo depende de vários fatores, que incluem a estabilidade do sistema de medida, ruídos internos e externos e as características do solo, sendo extremamente importante a localização da primeira quebra do sinal (first break), ou primeiro ponto válido do sinal para o processamento posterior dos dados.

Nas medidas de poço, o dado fundamental corresponde ao tempo de viagem da onda que sai do transmissor até o encontro da antena receptora. Este dado é fornecido pelo first break, e sua determinação depende, em grande medida, do tratamento dos dados.

O tratamento dos dados é dividido duas etapas. Cada run é analisado de forma individual. Na Figura 2 são mostrados três runs consecutivos. Nossa análise se concentra no run 22.

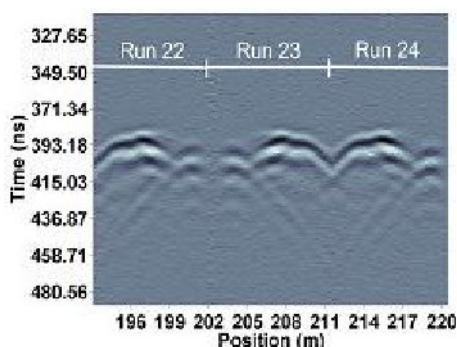


Figura 2. Seção crosshole correspondente a três runs consecutivos.

A primeira parte do tratamento dos dados visa eliminar o ruído que acompanha cada traço. Na Figura 3 mostramos o processamento de um traço (A) característico, utilizando dois tipos de filtros, um passa-banda usando a transformada de Fourier para passar ao domínio das frequências, traço (B), e outro baseado na transformada de wavelet, equação (1), (Giroux et al, 2007), traço (C).

$$T(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

onde os parâmetros  $a$  e  $b$  são discretizados da forma:

$$a = a_0^{-m} \quad a_0 > 1 \text{ e } m \in Z \quad (3)$$

$$b = nb_0 a_0^{-m} \quad b_0 > 0, \text{ fixo}, m, n \in Z \quad (4)$$

$g(t)$  caracteriza o sinal,  $a$  e  $b$  são valores reais, o primeiro representa um parâmetro de escala do wavelet (contração ou dilatação) e o segundo um parâmetro de localização (deslocamento).

Diferentes valores de  $m$  correspondem a wavelets de diferentes escalas. As escalas têm uma relação com a frequência do sinal, equação (5):

$$F_a = \frac{\Delta F_c}{a} \quad (5)$$

$\Delta$  - Período de amostragem

$a$  - Escala do wavelet

$F_c$  - Frequência central do wavelet

$F_a$  - Frequência do sinal

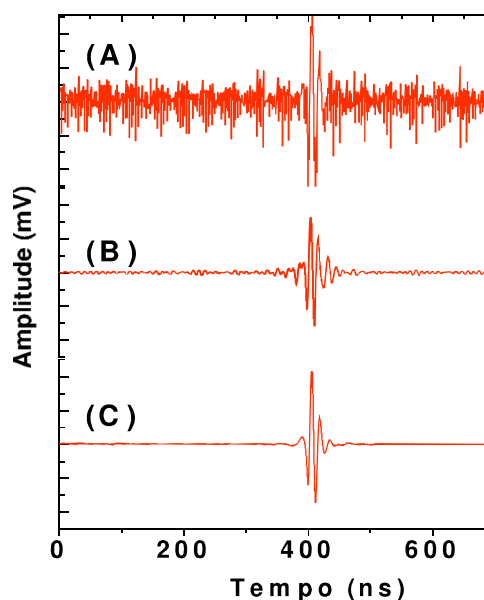


Figura 3. Relação sinal-ruído de um traço. (A) sinal sem filtro, (B) sinal com filtro passa-banda e (C) sinal com filtro Wavelet.

Quando passamos para o domínio das frequências são eliminadas as baixas escalas relacionadas com as altas frequências, típica dos ruídos. Este tipo de filtro nos forneceu a melhor relação sinal-ruído. Ver Figura 3.

Com o sinal limpo (com menos ruído), entramos na segunda etapa do tratamento dos dados que consiste em definir um método para localizar os first breaks.

Na literatura existem diversas aproximações para definir a primeira queda de um sinal GPR (Yelf, 2004). Como o sinal depende de vários fatores, cada critério se adapta

às características próprias da medida e da forma do sinal, não havendo um método comum ou padrão.

Nossa contribuição nesse sentido está direcionada a procurar parâmetros estatísticos que caracterizem o traço, obtendo uma métrica que será válida para qualquer traço ou sinal, independente das suas características.

Para cada traço do run 22, após filtragem, encontramos o *RMS* ou média quadrática, equação (6), janelado o tempo a cada 7 nanosegundos.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2} \quad (6)$$

Logo após calculamos o desvio padrão acumulado ( $\sigma$ ), equação (7). O primeiro desvio toma os pontos pertencentes à primeira janela, o segundo desvio considera todos os pontos da primeira e da segunda janela e assim por diante até completar o traço.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(a_i - RMS_j)^2}{N(N-1)}} \quad (7)$$

O  $RMS_j$  representa a média quadrática acumulada.

Uma vez calculados os parâmetros descritos acima, encontramos o ponto de maior amplitude da onda direta ( $T_{max}$ ) (Yelf, 2004). Para calcular ( $T_{max}$ ) tomamos como critério o valor do *RMS* maior, ou igual, a duas vezes o desvio. Este critério é válido porque a diferença entre ambos antes de aparecer a primeira queda é praticamente zero.

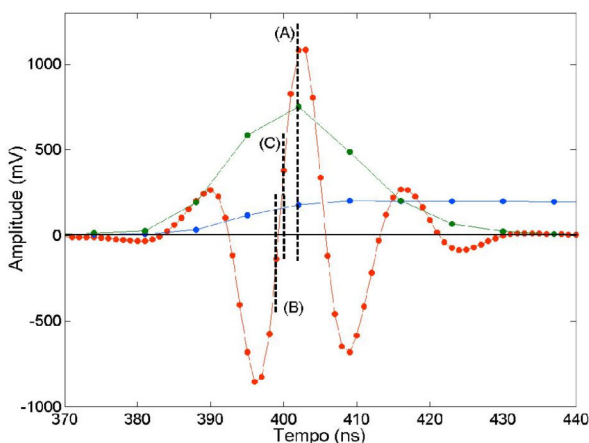


Figura 4. Traço GPR onde são representados os pontos  $T_{max}$  (A),  $T_0$  (B) e  $T_{med}$  (C). A linha verde e azul representam o *RMS* janelado e o  $\sigma$  acumulado, respectivamente.

Localizado o ponto de maior amplitude e o ponto de amplitude zero ( $T_0$ ), este último obtido a partir de um algoritmo para encontrar raízes, encontramos o ponto de meia altura ( $T_{med}$ ), definido como o valor médio entre eles, utilizado como critério para a escolha dos first breaks, observado na Figura 4. Este processo foi aplicado a todos os traços que compõem o run 22.

Na Figura 5 estabelecemos uma relação entre a posição do receptor e os tempos correspondentes aos três pontos característicos. Esta relação mostra que o algoritmo utilizado para calcular cada um dos tempos é satisfatório. Cada um dos tempos, em especial o first breaks, representado pelo  $T_{med}$ , descrevem adequadamente o movimento do receptor através do poço. No run 22, o transmissor está posicionado no meio do poço e o receptor desce, na medida que o receptor se aproxima ao transmissor, os tempos diminuem até atingir um mínimo quando as antenas ficam posicionadas frontalmente. Logo após o receptor se afasta novamente e os tempos aumentam.

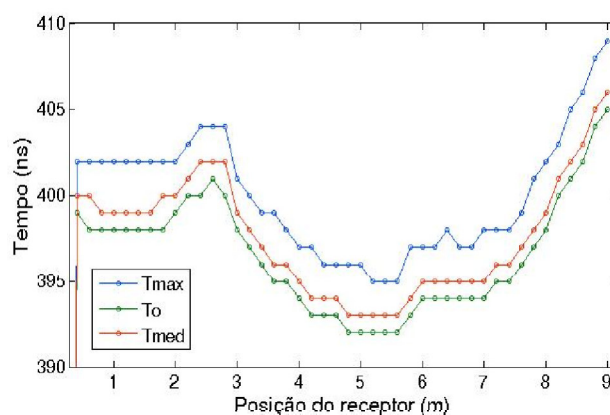


Figura 5. Relação entre  $T_{max}$ ,  $T_0$  e  $T_{med}$  versus posição do receptor. Os first breaks são representados pelo  $T_{med}$ .

A superposição dos first breaks com a secção correspondente ao run 22, corrobora o resultado anterior.

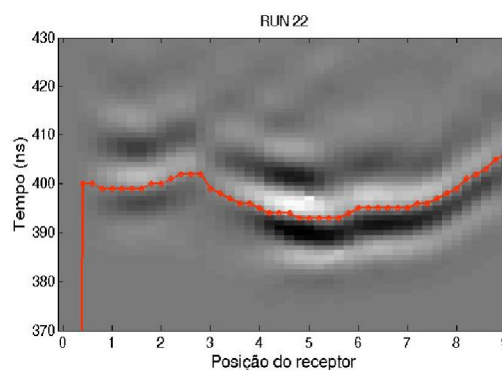


Figura 6. Superposição dos first breaks com o run 22. A descontinuidade no início da secção representa o ruído.

## Conclusões

Este trabalho apresenta um algoritmo estável e de fácil manipulação para calcular e identificar os first breaks de um conjunto de traços que compõem um run. O método mostrou-se eficiente e pode ser implementado como primeiro passo para uma inversão tomográfica sem fazer uso do pick para identificar o first break.

## Agradecimentos

Agradecemos a Petrobras pelo suporte neste trabalho. EC recebe bolsa PIBIC do CNPq, JEM e LP recebem bolsas DTI/MCT e JM recebe bolsa CNPq.

## Referências

Hollender, F., Tillard, S., Corin, L., 1999, Multifold borehole radar acquisition and processing, *Geophysical Prospecting*, 47, 1077–1090.

Kim J. H., Cho S.J. and Yi M. J. 2004, Borehole radar survey to explore limestone cavities for the construction a highway bridge. *Exploration Geophysics* 35, 80–87.

Maurer, H., Green, A.G., 1997, Potential coordinate mislocations in crosshole tomography: result from the Grimsel test site. *Geophysics* 62, 1696–1709.

Peterson, J.E. Jr., 2001, Pre-inversion corrections and analysis of radar tomographic data. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 6, 1–18.

Vasco, D.W., Peterson, J.E. Jr., Lee, K.H., 1997, Ground-penetrating radar velocity tomography in heterogeneous and anisotropic media. *Geophysics* 62, 1758–1773.

Yelf, R., 2004, Where is True Time Zero?. Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar 1-4.

Giroux, B., Gloaguen, E., Choteau, M., 2007, bh\_tomo – a Matlab borehole georadar 2D tomography package, *Computer and Geosciences*, 33, 126-137