



Estimativa de parâmetros em meios anisotrópicos TIV com equação moveout não hiperbólica

Rubervaldo M. Pereira CPGF/UFPA, BRASIL.

João Carlos R. Cruz CPGF/UFPA, BRASIL.

João dos S. Protázio ICEN/Faculdade de Estatística/UFPA, BRASIL.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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.

Abstract

In the last years, considering the presence of anisotropy in geological models and their implications has opened up a range of alternatives to schemes of data processing in seismic exploration. Thus, a good estimate of parameters elastic anisotropic became primary task in geological models for data processing in seismic exploration.

The parameters δ , ϵ and γ of Thomsen (1986) and η of Alkhalifah and Tsvankin (1995) has been the most usual method for characterizing physically vertical transverse isotropic (VTI) media. Techniques of inversion with the objective of estimating these parameters, and consequently the elastic parameters from equations of the: velocities, reflection and transmission coefficients, polarizations, moveout nonhyperbolic, are common in the literature (Tsvankin et al., 2001).

In this work we estimate the anisotropic parameters δ , ϵ and η in a VTI media, in an experiment of reflection, using the technique of least squares non-linear, using the algorithm Simulated Annealing, from the estimation of velocities V_{NMO} and V_{hor} on moveout equation nonhyperbolic. We obtained good estimates for the velocity V_{NMO} and parameter η . These fully control all P -wave time processing steps.

1. Introdução

Considerar a presença de anisotropia em modelos geológicos tem se tornado comum no processamento de dados na exploração sísmica. Assim, uma boa estimativa de parâmetros elásticos tornou-se tarefa primordial na caracterização de reservatórios e, conseqüentemente, para se processar dados sísmicos.

Os parâmetros δ , ϵ e γ de Thomsen (1986) e η de Alkhalifah and Tsvankin (1995) tem sido a forma mais usual para se caracterizar fisicamente meios anisotrópicos TI com fraca anisotropia. Escrever equações de: velocidades, coeficientes de reflexão e transmissão, polarizações, moveout não hiperbólica, dependendo destes parâmetros é comum na literatura (Tsvankin et al., 2001).

Técnicas de inversão com o intuito de estimar esses parâmetros abundam na literatura como, por exemplo, em Kenneth et. al. (2008), que usam análise de semblance baseado em técnica de interpolação racional para estimar as velocidades NMO (V_{NMO}) e horizontal (V_{hor}) e com estas o parâmetro anisotrópico de anelipticidade η , usando uma interpolação racional [2/2] equação moveout não hiperbólica.

Este trabalho é uma abordagem que estima os parâmetros anisotrópicos δ , ϵ e η em um meio TI por técnica de mínimos quadrados não linear, utilizando o algoritmo Simulated Annealing, a partir da estimativa das velocidades V_{NMO} e V_{hor} da equação moveout não hiperbólica.

2. Metodologia

2.1 Equação moveout não hiperbólica

A equação geral moveout hiperbólica aproximada para pequenos afastamentos fontes e geofones e pequenos mergulhos foi apresentada por Hubral e Krey (1980) como

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V_{NMO}^2} \quad (1)$$

sendo, t_0 o tempo zero offset, x à distância, V_{NMO} a velocidade normal moveout, que para refletor horizontal é dada por $V_{NMO} = V_{P0}(1 + 2\delta)$.

A equação geral moveout não hiperbólica, usada para estimar tempo de trânsito para grandes afastamentos ou tempo de trânsito em meios anisotrópicos, foi dada por Tsvankin e Thomsen (1994) como:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V_{NMO}^2} - \frac{A_4 x^4}{1 + Ax^2} \quad (2)$$

onde, A_4 é o chamado termo quártico moveout da equação e

$$A \equiv \frac{A_4}{V_{hor}^2 - V_{NMO}^2} \quad (3)$$

Em (3) $V_{hor} = V_{P0}(1 + 2\epsilon)$ é a velocidade horizontal que, por sua vez, depende da velocidade da onda P a zero offset, V_{P0} .

Para meios TIV e propagação de ondas P , o termo quártico na equação (2) é aproximado como

$$A_{4,P} = -\frac{2(\epsilon - \delta)(1 + \frac{2\delta}{T})}{t_{P0}^2 V_{P0}^4 (1 + 2\delta)^4} \quad (4)$$

sendo

$$f \equiv 1 - \frac{V_{S0}^2}{V_{P0}^2} \quad (5)$$

e V_{S0} -a velocidade da onda S na configuração zero offset.

Tsvankin et. al. (2001) mostraram que para meios TIV a equação (2) pode ser reescrita em função das velocidades V_{NMO} e V_{hor} como:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V_{NMO}^2} - \frac{(V_{hor}^2 - V_{NMO}^2)x^4}{V_{NMO}^2(t_0^2 V_{NMO}^2 + V_{hor}^2 x^2)} \quad (6)$$

Esta equação tem a virtude de tratar com dois parâmetros com a dimensão da velocidade.

2.2 Mínimos quadrados não linear

Para um conjunto de dados observados de configuração ponto-médio comum de coordenadas (x, t) com uma relação funcional $t = f(x)$, nosso problema consiste em aproximar a função f por uma função $F(x)$, nos parâmetros V_{NMO} e V_{hor} , tal que

$$Q = \|f(x) - F(x)\|^2 = \text{mínimo}. \quad (6)$$

Q é chamada de função objetivo.

2.3 Algoritmo Simulated Annealing

Segundo Sen & Stoffa (1995), Simulated Annealing (SA) é uma técnica de busca aleatória que explora uma analogia entre a forma na qual um metal esfria e congela dentro de uma estrutura cristalina de energia mínima e busca por um mínimo em um sistema mais geral. SA foi desenvolvido para lidar com problemas inversos altamente não lineares.

A maior vantagem do SA sobre outros métodos é a habilidade de evitar ficar preso em um mínimo local. O algoritmo emprega uma busca aleatória que não só aceita mudanças que diminua a função objetivo Q , mas também algumas mudanças que a aumente. Estes são aceitos com uma probabilidade

$$p = \exp(-\delta Q/T)$$

sendo δQ o aumento de Q e T o parâmetro de controle conhecido como o sistema de *temperatura* independente da função objetivo envolvida.

3. Experimentos

Nosso objetivo é caracterizar a presença de anisotropia em um modelo litológico a partir da estimativa dos parâmetros δ , ϵ e η . Para tanto estimamos as velocidades V_{NMO} e V_{hor} da equação moveout não hiperbólica (5).

Como um exemplo sintético, seja um meio anisotrópico TIV Taylor sandstone (Thomsen, 1986) com: $\rho = 2,5 \text{ g/cm}^3$, $V_{P0} = 3,3680 \text{ km/s}$, $V_{S0} = 1,8290 \text{ km/s}$, e parâmetros: $\epsilon = 0,110$, $\delta = -0,035$, $\gamma = 0,255$. Na Figura 1 é apresentado o gráfico do tempo de trânsito *versus* afastamento deste modelo para $t_0=1$. Na mesma Figura o modelo perturbado (exato contaminado com ruído aleatório sobre o valor máximo de tempo de trânsito) e o isotópico são grafados.

Em primeiro lugar, fizemos a estimativa da velocidade NMO utilizando a equação hiperbólica (1) na função objetivo como se o modelo fosse isotrópico. Fazendo uma estimativa de mínimos quadrados não linear usando

o método SA, encontramos neste experimento um valor para velocidade NMO de $3,40 \text{ km/s}$ com erro de aproximadamente 4.7% em relação ao valor calculado como equação exata da velocidade NMO.

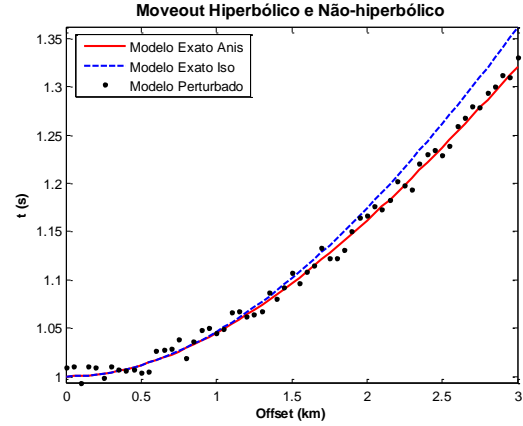


Figura 1. Curvas do tempo de trânsito versus afastamento do: moveout hiperbólico (tracejada), moveout não-hiperbólico (contínua) e com ruído (pontilhada).

A seguir, fizemos a estimativa das velocidades NMO e horizontal utilizando a equação não hiperbólica (6) na função objetivo, como se o modelo fosse anisotrópico. Realizamos uma estimativa de mínimos quadrados não linear usando o método SA, com valores iniciais para as velocidades de $V_{NMO}^0 = 3,0$ e $V_{hor}^0 = 3,0$, com limites $2 < V_{NMO} < 5$ e $2 < V_{hor} < 5$. Encontramos valores para as velocidades: V_{NMO} e V_{hor} e, conseqüentemente, estimamos valores para os parâmetros δ , ϵ e η , caracterizando assim a anisotropia do meio.

Os resultados, bem como, os erros nas medidas são apresentados na Tabela 1. Nela podemos constatar que as velocidades V_{NMO} e V_{hor} foram bem estimadas (erros menores que 1%) resultando em boas aproximações para o parâmetro η (erros menores que 2%) e não tão boa para os parâmetros ϵ e δ . Porém, segundo (Tsvankin et. al., 2001) a velocidade V_{NMO} e η controlam completamente todos os passos do processamento da onda P no tempo (NMO e correção DMO, migração no tempo pré- e pós-empilhamento) em meios TIV heterogêneos.

Tabela 1. Valores exatos e Calculados das velocidades e parâmetros na inversão

	V_{NMO}	V_{hor}	δ	ϵ	η
Valor Exato	3,2480	3,7201	-,0350	0.110	0.1559
Valor Aproximado	3,2281	3,6889	-,0407	0.0998	0.1529
Erro Relativo	0.6%	0.8%	16.2%	9.3%	1.9%

Na Figura 2 é apresentado o gráfico do tempo de trânsito *versus* afastamento deste modelo para $t_0=1$. Nesta mesma Figura o modelo exato e perturbado (exato contaminado com ruído aleatório sobre o valor máximo de tempo de trânsito) bem como os calculados com a velocidade NMO estimada nos experimentos moveout hiperbólico e moveout não hiperbólico.

Na figura 3 são apresentadas as curvas de nível do funcional Q construído com os dados contaminados com ruído e a equação (6) tendo como parâmetros: V_{NMO} e V_{hor} . Nesta, estão marcados, também, o ponto exato e o aproximado destas velocidades.

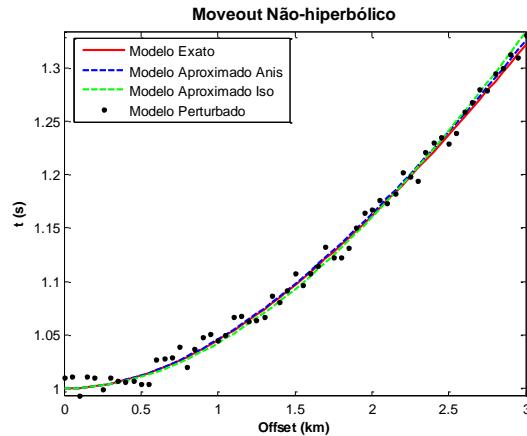


Figura 2. Curvas do tempo de trânsito versus afastamento do: moveout não-hiperbólico (contínua) e com ruído (pontilhada), bem como, Modelo calculado Hiperbólico e Modelo calculado Não-Hiperbólico.

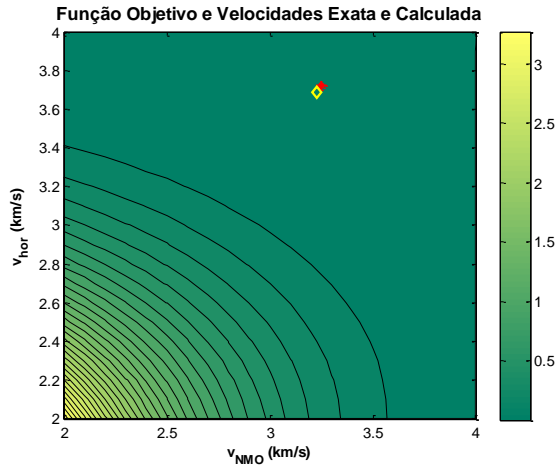


Figura 2. Curvas contorno da função objetivo usando a curva de moveout não-hiperbólico, bem como, as velocidades: V_{NMO} e V_{hor} , exata (*) e calculada (◊).

Conclusões

Primeiramente, mostramos a necessidade em se considerar a equação moveout não hiperbólica na estimativa da velocidade NMO comparando resultados com a equação hiperbólica em um modelo TIV.

A seguir, usamos dados sintéticos e a equação moveout não hiperbólica, em função das velocidades V_{NMO} e V_{hor} , em uma técnica de mínimos quadrados para construirmos um funcional não linear e estimarmos estas velocidades por meio de um algoritmo de busca chamado Simulated Annealing. De posse destas velocidades, fizemos estimativas dos parâmetros δ , ϵ e η .

Verificamos que a velocidade V_{NMO} e os parâmetros ϵ e η foram bem estimados com erro aceitável, porém o parâmetro δ não foi bem estimado. Contudo, as velocidades V_{NMO} e η controlam completamente todos os passos no processamento no tempo de ondas P (NMO e correção DMO, migração no tempo pré- e pós-empilhamento) em meios TIV verticalmente heterogêneos (Tsvankin et. al., 2001).

Referências

- ALKHALIFAH, Tariq; TSVANKIN, Ilya. Velocity analysis for transversely isotropic media. *Geophysics*, 1995, 60.5: 1550-1566.
- Hubral, P. and Krey, T., 1980. Interval velocities from seismic reflection time measurements: Soc. Explor. Geophys. Monograph.
- SEN, Mrinal K.; STOFFA, Paul L. *Global optimization methods in geophysical inversion*. Amsterdam: Elsevier, 1995.
- THOMSEN, Leon. Weak elastic anisotropy. *Geophysics*, 1986, 51.10: 1954-1966.
- TSVANKIN, Ilya; HELBIG, Klaus; TREITEL, Sven. *Seismic signatures and analysis of reflection data in anisotropic media*. Amsterdam: Pergamon, 2001.