



## Picking interativo dos atributos CRS e tomografia da onda NIP: Aplicação em dados da Bacia do Tacutu

Iran Gadelha, Williams A. Lima, German Garabito, CPGf/Ufpa, german@ufpa.br

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> 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 order to determine the seismic velocity model by tomographic inversion based on kinematic attributes of the NIP-wave, chosen on a zero-offset (ZO) stacked section resulting of the CRS method, the first and second horizontal spatial traveltimes derivatives of primary reflection points are necessary. In tomographic velocity inversion, the picking process is critical and a wrong choice of events and their attributes could degrade the convergence of the inversion process. For the picking process of NIP-wave tomography, it was developed an interactive software, called iNIP-picking, which uses the local properties of the reflector to perform a semiautomatic picking of points located on a reflector. The software also enables the choice and the edition of the picked points through graphical resources. In this work we present the application of this picking software and the NIP-wave tomography in a real seismic data of the Tacutu Basin. The results presented here are preliminary.

### Introdução

No imageamento sísmico aplicado a exploração de petróleo, o modelo de velocidades é uma das informações mais importantes para o processo de imageamento sísmico em profundidade (migração). Para se obter um modelo de velocidades representativo da geologia da subsuperfície são necessários métodos sofisticados que usam técnicas interativas e automáticas. Dentro das técnicas automáticas, a inversão tomográfica de dados de reflexão é um dos métodos tradicionais utilizado para a determinação do modelo de velocidades.

Recentemente, foi desenvolvido um novo método de inversão tomográfica (Duvencek, 2004) que utiliza o tempo de trânsito e os atributos cinemáticos da onda hipotética do ponto de incidência normal (NIP) extraídos da seção ZO (*zero-offset*) simulada pelo método de empilhamento por superfícies de reflexão comum (CRS) (Jäger et al., 2001; Garabito et al., 2001; Mann, 2001).

Antes de iniciar a inversão tomográfica da onda NIP é necessário extrair, por meio do processo de *picking*, os atributos cinemáticos da onda NIP de um grande número

de pontos ao longo das reflexões primárias presentes na seção ZO. Os parâmetros de inversão associadas à aproximação hiperbólica de segunda ordem trânsito de raios paraxiais a um raio central com incidência normal são: a primeira derivada espacial horizontal do tempo de trânsito e a segunda derivada espacial horizontal do tempo de trânsito.

Nos métodos de inversão tomográfica de atributos cinemáticos do campo de onda, o processo de *picking* é um problema crítico, principalmente quando este processo é realizado em seções pré-empilhadas como no método de estereotomografia (Billette e Lambaré, 1998). Normalmente, o *picking* ou marcação dos pontos sobre os eventos de reflexão é um processo demorado e quando a razão sinal-ruído dos dados é baixa, torna-se difícil ou até impossível identificar e escolher os pontos sobre eventos de reflexões primárias. No método de inversão tomográfica dos atributos da frente da onda NIP proposta por Duvencek (2004), o processo de *picking* é menos crítico por ser realizado na seção empilhada ZO resultante do método CRS, que em geral apresenta boa qualidade e uma razão sinal-ruído alta. Nesta inversão tomográfica, devido a uma especial parametrização do modelo os pontos marcados na seção ZO podem ser considerados independentes um do outro, ou seja, não precisam ser realizados de forma ininterrupta ao longo de reflexões contínuas em toda a seção ZO.

Em Klüver e Mann (2005) é apresentado um algoritmo para fazer o *picking* dos atributos CRS de uma maneira automática. Os valores são escolhidos com base nas propriedades locais dos eventos de reflexão, valores de coerência e amplitudes dos eventos adjacentes, porém, verificou-se que esse algoritmo, além de escolher pontos sobre reflexões primárias, também inclui pontos sobre difrações, múltiplas e outros ruídos, que não podem ser usados na tomografia. Com o propósito de melhorar o processo de *picking*, em Oliveira (2006) foi desenvolvido um *software* interativo utilizando os recursos de programação gráfica do Matlab. Nesse *software* os pontos resultantes do *picking* automático podem ser editados e também fazer o *picking* manual de novos pontos.

Neste trabalho apresentamos uma nova ferramenta para fazer o *picking* semi-automático de uma maneira rápida e eficaz. Este *software* denominado de iNIP-*picking* está sendo desenvolvido na linguagem Java e usa o formato Seismic Unix para a manipulação dos dados sísmicos. Também será apresentada a aplicação do método de tomografia da onda NIP para a determinação do modelo de velocidades de dados reais de uma linha sísmica (204-RL-247) da Bacia do Tacutu, porém, os resultados apresentados são preliminares.

### Atributos da onda NIP e tomografia da onda NIP

O método de empilhamento CRS quando aplicado em dados sísmicos com cobertura múltipla produz uma seção ZO empilhada e adicionalmente seções de três atributos cinemáticos associados às ondas hipotéticas Normal (onda N) e Ponto de Incidência Normal (onda NIP). Estes atributos são o ângulo de emergência do raio central com incidência normal,  $\beta_0$ , a curvatura da frente de onda NIP,  $K_{NIP}$ , e a curvatura da onda normal,  $K_N$ .

A tomografia da onda NIP está baseada no conceito de focalização da frente de onda NIP por meio da propagação reversa até o ponto de origem da mesma. No caso 2D, os atributos sísmicos usados no processo de inversão são a primeira deriva do tempo de trânsito,  $P^{(\xi)}$ , e a segunda deriva do tempo de trânsito,  $M_{NIP}^{(\xi)}$ , dadas por:

$$P^{(\xi)} = \sin \beta_0 / v_0,$$

$$M_{NIP}^{(\xi)} = K_{NIP} \cos^2 \beta_0 / v_0,$$

onde  $v_0$  é a velocidade próxima a superfície,  $\xi_0$  e  $t_0$  são as coordenadas na seção ZO do ponto de emergência e do tempo de trânsito duplo do raio central. Assim, os dados requeridos para inversão tomográfica associados a cada ponto sobre os eventos de reflexão são:  $(\tau_0 = t_0/2, M_{NIP}^{(\xi)}, P^{(\xi)}, \xi_0)$ . Como mencionado antes, estes dados ou parâmetros observados são extraídos a partir da seção ZO empilhada e dos atributos de empilhamento do método CRS. No processo de inversão tomográfica o mesmo conjunto de dados é gerado por modelamento direto através do traçamento de raios, afim de que a diferença entre os dados observados e os dados modelados seja minimizada pelo método dos mínimos quadrados, determinando-se assim o modelo de velocidades que melhor ajuste os dados observados. Maiores detalhes da tomografia da onda NIP podem ser encontradas em (Duvneck, 2004).

Uma das etapas mais importantes da aplicação da tomografia da onda NIP é o processo de *picking*. Deve anteceder a este processo uma análise interpretativa da seção ZO empilhada a fim de identificar as reflexões primárias. Os atributos a serem extraídos das reflexões primárias não devem ser redundantes, logo os pontos marcados não devem estar muito próximos uns dos outros. A marcação dos pontos não precisa ser realizada ao longo de refletores contínuos em toda a seção ZO. Para realizar o *picking* levando em conta todas as considerações citadas acima foi desenvolvido o software interativo iNIP-picking, cujas características principais são apresentadas a seguir.

### O software iNIP-picking

Este *software*, desenvolvido na linguagem Java usando a plataforma Netbeans 6.0, foi criado para trabalhar com dados de entrada no formato Seismic Unix (Stockwell, 1999), porém, os dados de saída a serem usados na

inversão tomográfica estão no formato ASCII. A escolha da linguagem Java foi com o intuito de produzir um software independente do sistema operacional utilizado pelo usuário ou da necessidade de instalação de bibliotecas proprietárias.

O *software* iNIP-picking fornece duas opções de *picking*: manual e semi-automático. Pelo método manual o usuário pode escolher ponto a ponto sobre a seção ZO, enquanto que pelo método semi-automático o usuário escolhe apenas um único ponto em uma região onde ele julgue possuir um evento de reflexão primária e o software prossegue a busca pelos melhores pontos à direita e à esquerda do ponto escolhido seguindo o possível evento de reflexão. O *software* possui os modos de visualização em forma de traços e imagem, também fornece a ferramenta zoom (Figura 2) e uma ferramenta para apagar ponto a ponto ou um conjunto de pontos escolhidos previamente.

Na estratégia utilizada pelo processo semi-automático, o *picking* é realizado traço a traço da seguinte maneira:

- No ponto marcado ou escolhido uma janela temporal é definida para buscar o ponto de amostragem com maior valor de amplitude.
- A janela temporal é definida também nos traços vizinhos com base na informação do ângulo de inclinação do evento de reflexão no ponto escolhido. Esta janela é usada para orientar a direção do *picking* e assim seguir o possível refletor (Figura 1).
- Calcula-se a amplitude média do ponto escolhido com a de outros traços vizinhos à direita e à esquerda. Os pontos escolhidos deverão ter amplitudes maiores a um valor predefinido com relação a media (Figura 1).
- A escolha dos pontos também está condicionada à janela de tempo e a janela espacial predefinidos pelo usuário ou automaticamente a partir de informações dos dados, evitando a escolha de pontos muito próximos uns dos outros.

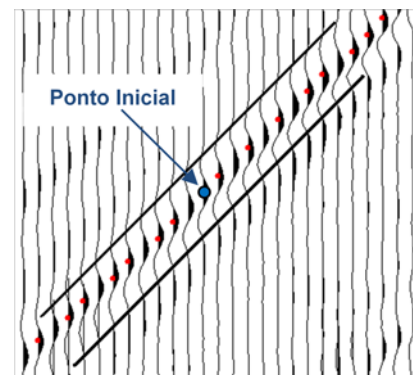


Figura 1 - Estratégia do *picking* semi-automático. Definição da janela temporal e *picking* sobre evento inclinado.

### Aplicação da tomografia da onda NIP

A tomografia da onda NIP é o software iNIP-picking são aplicados para a determinação do modelo de velocidades da linha sísmica 204-RL-247 da Bacia do Tacutu. Com o modelo de velocidades obtido será aplicada a migração Kirchhoff pós-empilhamento em profundidade. O fluxograma da Figura 2 resume as principais etapas de processamento aplicadas no processamento da referida linha.

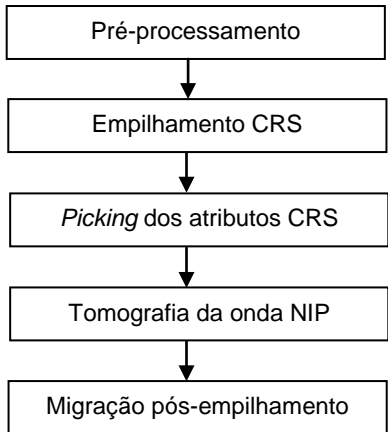


Figura 2 - Etapas de processamento aplicadas na linha 204-RL-247 da Bacia do Tacutu.

A Bacia do Tacutu que é uma bacia do tipo rifte intracontinental está localizada na região central do Escudo das Guianas, na fronteira entre o Estado brasileiro de Roraima e o distrito de Rupununi na Guiana. A linha 204-RL-247 corresponde a uma aquisição datada de 1986, com 28,5 km de extensão e um total de 571 tiros e 96 canais (estações receptoras). O dado foi adquirido com um arranjo *split-spread* assimétrico.

O pré-processamento dos dados compreende a aplicação de processos como edição, correção de amplitudes, deconvolução, filtragem f-k e outros. Todos estes processos foram aplicados com o *software* ProMax da Landmark Graphics Corporation. O empilhamento CRS foi aplicado com o software desenvolvido no Programa de pós-graduação em Geofísica da UFPA (Garabito, 2001). Como resultados se obtêm uma seção ZO, uma seção de coerência (semblance) e três seções com os atributos CRS.

O *software* iNIP-picking inicia com a leitura da seção ZO e das seções ângulo de emergência, raio de curvatura da onda NIP e coerência, coletando várias informações como: número de traços, espaçamento do ponto médio (ou intervalo entre traços), tempo de amostragem e outros. Logo em seguida é exibida a janela com a seção ZO (Figura 3).

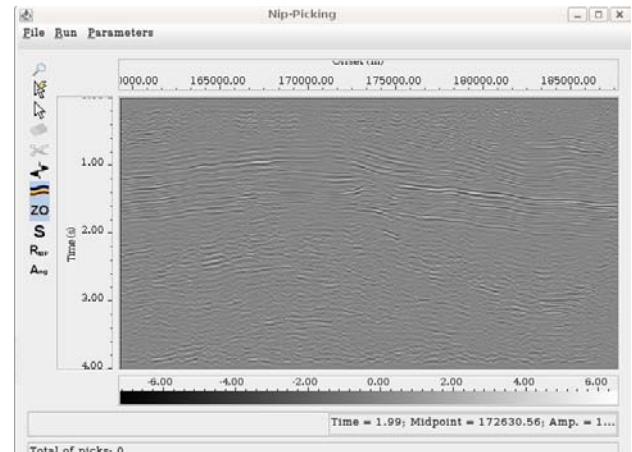


Figura 3 – Visualização da seção ZO empilhada da linha 204-RL-247 da Bacia do Tacutu usando o iNIP-picking.

Na Figura 4 mostra-se o resultado do *picking* de um conjunto de eventos de reflexão em toda a seção ZO empilhada da linha 204-RL-247. Este resultado mostra que com o *software* NIP *picking* pode-se ter um controle total dos pontos a serem escolhidos ou marcados em toda a seção ZO. No momento do cálculo dos atributos cinemáticos do campo de onda para a tomografia, o *software* só aceitará os pontos que estiverem acima ou igual ao valor limite de coerência exigida pelo usuário. Os pontos descartados são excluídos da seção ZO.

Para a aplicação da tomografia da onda NIP foi utilizado o software NIP-tomo do Consorcio WIT (Wave Inversion Technology) da Universidade de Karlsruhe, Alemanha, cuja licença de uso foi concedida para uso na UFPA. Foi criada uma malha com  $n_x \times n_z = 31 \times 16 = 496$  nós com um espaçamento horizontal constante de 1000m e um espaçamento vertical constante de 300m. A velocidade próxima a superfície foi considerada 2000m/s e para construção do modelo inicial para a inversão foi utilizado um gradiente vertical de 0,65. Foram realizados 6 iterações e o modelo de velocidade resultante da tomografia é mostrado na Figura 5.

Este modelo de velocidade foi utilizado para aplicar a migração Kirchhoff pós-empilhamento em profundidade na seção ZO resultante do empilhamento CRS (Figura 3), cujo resultado mostra-se na Figura 6. Mais testes devem ser feitos para a melhoria do modelo de velocidade e posteriormente aplicar a migração Kirchhoff pós-empilhamento e pré-empilhamento.

### Conclusões

O software iNIP-picking é uma ferramenta bastante útil para o processo de *picking* dos atributos da onda NIP provenientes do empilhamento CRS. O processo de busca semi-automática é bastante eficiente para seguir os refletores e fazer o *picking* e também para interromper a busca de novos pontos quando o refletor sofre uma forte influência de ruído ou perda de amplitude.

Os primeiros resultados obtidos na linha 204-RL-247 da Bacia de Tacutu, mostram que o software de *picking* semi-automático viabiliza a aplicação em dados reais do método de inversão tomografia da onda NIP para a determinação do modelo de velocidades no domínio da profundidade. Com as ferramentas de edição os pontos marcados ou escolhidos podem ser eliminados ou novos pontos podem ser acrescentados, o que permite a realização de vários testes da inversão tomográfica até a obtenção de um modelo de velocidades mais representativo.

Stockwell, Jr. J. W., 1997, Free Software in Education: A case study of CWP/SU: Seismic Unix, The Leading Edge.

## Agradecimentos

Agradecemos ao geofísico Heron Schots, UM-RNCE / PETROBRAS, pelas valiosas sugestões que possibilitaram o desenvolvimento do software iNIP-picking. O primeiro autor agradece a escola Tenente Rêgo Barros por liberá-lo de suas atividades para desenvolver o seu trabalho de mestrado no Curso de Pósgraduação em Geofísica da UFPA.

## Referências

Billette, F. and Lambaré, G., 1998, Velocity macromodel estimation from seismic reflection data by stereotomography. *Geophys. J. Int.*, v. 135, p. 671690.

Duveneck, E., 2004, Velocity model estimation with data-derived wavefront attributes. *Geophysics*, 69(1):265274.

Garabito, G., Cruz, J. C., Hubral, P., and Costa, J., 2001, Common reflection surface stack: A new parameter search strategy by global optimization. *71th. SEG Mtg., Expanded Abstracts. San Antonio, Texas, USA.*

Garabito, 2001, Empilhamento sísmico por superfícies de reflexão comum: Um novo algoritmo usando otimização global e local, Tese de doutorado, UFPA/CPGf, Belém-PA, p65.

Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P., 2001. Common reflection surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66:97–109.

Klüver, T. and Mann, J., 2005, Smoothing and automated *picking* of kinematic wavefield attributes. In: International Congress of the SBGf, 9, 2005, Salvador. *Anais, Salvador-BA.*

Mann, J., 2001, Common-reflection-surface stack and conflicting dips. In Extended Abstracts, 71th Annual Internat. Mtg., Expl. Geophys.

Oliveira, I. G., 2006, Estudo do método de inversão tomográfica 2D baseada nos atributos cinemáticos da onda NIP e construção de interface gráfica para o processo de *picking*. Dissertação de Mestrado, UFPA/CPGf, Belém-PA.



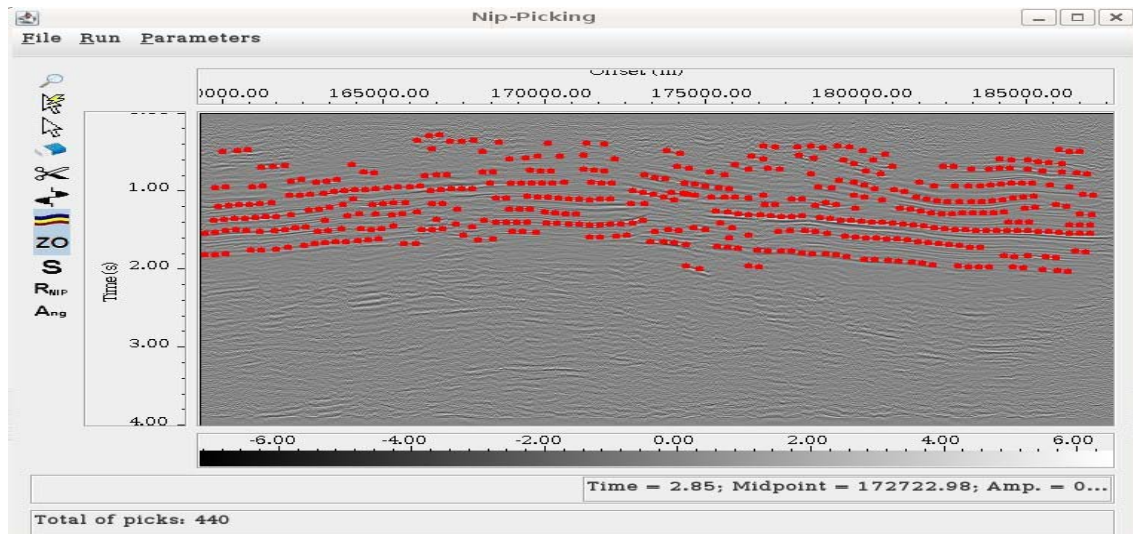


Figura 4 – Picking de 440 pontos sobre a seção afastamento nulo dos dados da linha 204RL247 da Bacia do Tacutu.

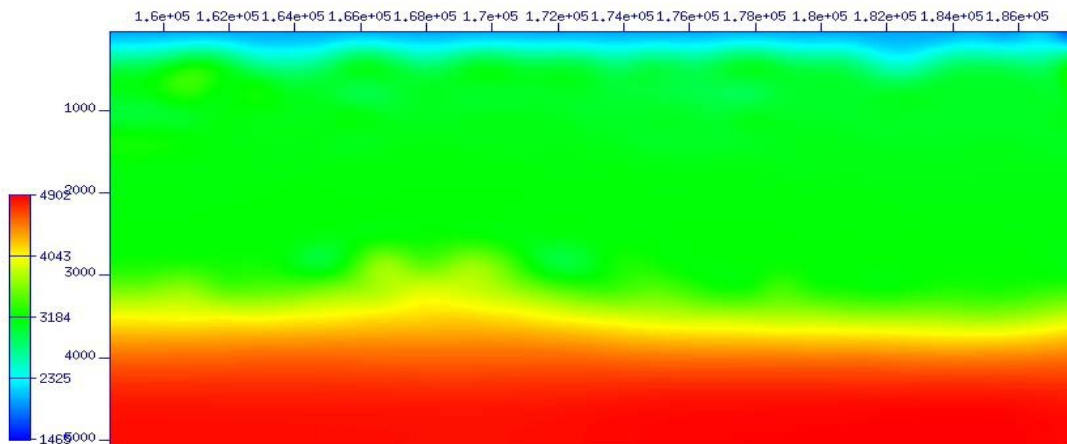


Figura 5 – Modelo de velocidades obtido pela tomografia da onda NIP para a linha 204RL247 da Bacia do Tacutu.

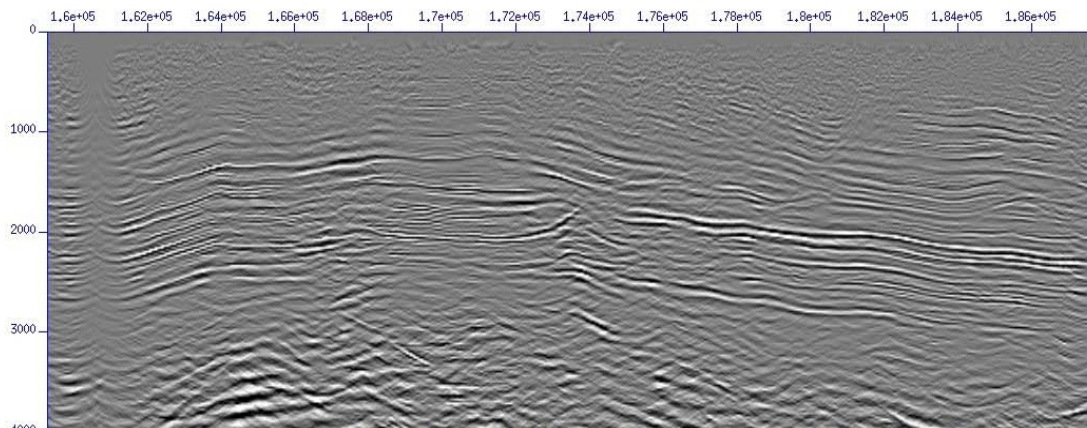


Figura 6 – Seção migrada pós-empilhamento em profundidade da linha 204RL247 da Bacia do Tacutu.