



Empilhamento SRC-2D: Comparação entre as estratégias de busca SRC pragmática-extendida e global-local.

Paschoal Jr, W. G. e Garabito, G. (*), CPGF/UFGA/Brasil

(*) german@ufpa.br

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

The seismic imaging method called Common-Reflection-Surface (CRS) stack simulates a zero-offset (ZO) section from multi-coverage seismic data. For the 2-D case, the hyperbolic traveltimes approximation used by the CRS stack depends on three kinematics attributes, which defines a stacking surface for each sampling point in the ZO section to be simulated. The main task of CRS stack method is the estimation of these three optimal attributes by means of automatic search strategies, based on coherence analysis evaluated in the pre-stack data. Currently, based on two different parameter search strategies, called *extended-pragmatic CRS search strategy* and *local-global CRS search strategy*, there are two CRS stack implementations, which were validated by simulating ZO sections from synthetic and real data sets. Their results had been compared to other similar results, obtained by the conventional NMO/DMO stack method. In this paper, we present a short description of these two CRS strategies and compare both implementations in their application to the well-known Marmousi data set.

Introdução

O imageamento sísmico tem como um dos objetivos gerar a melhor imagem possível das estruturas geológicas em subsuperfície, a partir dos dados sísmicos de reflexão. Nos últimos anos, foram propostos vários métodos de imageamento independente do macro modelo de velocidade para simular seções de afastamento nulo (AN), a partir de dados de cobertura múltipla 2D. Estes métodos são discutidos em detalhe na edição especial do *journal de geofísica aplicada*, editado por Hubral (1999). Dentro deste grupo está o método chamado de *empilhamento de superfície de reflexão comum* (SRC), que gera uma seção AN simulada, a partir de um conjunto de dados de cobertura múltipla. Aplicações sucessivas deste método em conjunto de dados reais são mostradas em Mann et al. (1999), Trappe et al. (2001), Bergler et al. (2002), Gierse et al. (2003), Garabito et al., (2003a). O empilhamento SRC gera uma seção AN com resolução boa, e também fornece três seções de parâmetros de empilhamento que podem ser úteis para outras aplicações, como determinação do modelo velocidade (Biloti et al., 2002, Duvencek, 2004) e análise de AVO (Pruessmann et al., 2004). Neste trabalho, os interesses são para duas implementações do empilhamento SRC que usam diferentes estratégias de busca dos parâmetros SRC. A 1^o é chamada de estratégia de busca SRC pragmática-extendida desenvolvida por Müller (1998), Jäger et al. (2001) e Mann (2001) e a outra é

chamada de estratégia de busca SRC global-local, desenvolvida por Garabito et al. (2001). As implementações do empilhamento SRC baseadas nestas duas estratégias de busca foram validadas para simular seções AN e determinar os parâmetros de empilhamento SRC, a partir de dados sintéticos e reais (terrestre e marinho), os respectivos resultados destas implementações, foram comparados com os resultados dos métodos de imageamento convencional NMO/DMO e outros, como migrações pós - e pre-empilhamento (Trappe et al., 2001; Bergler et al., 2002; Garabito et al., 2003a, Garabito et al., 2003b; Gierse et al., 2003).

Portanto, neste trabalho uma breve descrição das duas estratégias SRC é mostrada e para avaliar a eficiência de ambas, estas serão aplicadas em um conjunto de dados sísmicos, chamado Marmousi, que é de uma área geologicamente complexa, a fim de simular seções AN e compara-las entre si e com o resultado do método de empilhamento convencional NMO/DMO

Aproximação do tempo de trânsito SRC

A aproximação do tempo de trânsito SRC define uma superfície de empilhamento, onde esta calcula o tempo de trânsito de reflexão de raios paraxiais com afastamentos finitos na vizinhança de um raio de incidência normal no refletor, denominado *raio central*. O ponto de emergência na linha sísmica e o tempo de trânsito do raio central AN são denotados por x_0 e t_0 , respectivamente. A aproximação do tempo de trânsito SRC é uma expansão de Taylor hiperbólica de segunda ordem e é expressa em função de três parâmetros cinemáticos de frente de onda, das ondas ponto de incidência normal (PIN) e normal (N), ambos associados ao raio central (Hubral, 1983). Estes parâmetros são: o ângulo de emergência do raio central AN (β_0), o raio de curvatura da onda PIN (R_{PIN}) e o raio de curvatura da onda N (R_N). A onda PIN é uma onda ascendente que se origina no refletor em um ponto de incidência normal do raio central. A onda normal é uma onda ascendente que se origina explodindo um segmento ou arco de refletor, onde a curvatura inicial da frente de onda N é igual à curvatura local do refletor no ponto de incidência normal do raio central. A aproximação do tempo de trânsito hiperbólico SRC pode ser demonstrada por meio da teoria paraxial do raio (Schleicher et al., 1993) ou por uma aproximação geométrica (Höcht et al., 1999), e é :

$$t_{SRC,hip}^2(x_m, h) = \left(t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{PIN}} \right) \quad (1)$$

onde o meio afastamento entre a fonte e o receptor é denotado por h e x_m denota o o ponto médio entre a fonte e o receptor. O ângulo de emergente β_0 , o raio de curvatura R_{PIN} e o raio de curvatura R_N são denominados como *parâmetros de empilhamento SRC* ou apenas *parâmetros SRC*. O único parâmetro requerido a priori é a velocidade (v_0) próxima à linha de aquisição, ou seja, a velocidade na

vizinhança do ponto x_0 , e supõe-se ser constante nesta vizinhança.

Casos particulares da aproximação do tempo de trânsito SRC

As particularizações da aproximação do tempo de trânsito SRC (1) são de grande relevância para o método de empilhamento SRC, pois é por meio de estratégias de busca utilizando estas particularizações que são definidas: a seqüência em que os parâmetros SRC serão determinados pelos processos de busca automática em cada etapa do empilhamento SRC. Uma importante aproximação hiperbólica do tempo de trânsito é obtida considerando eventos de difração ou um raio central difratado, neste caso, a curvatura do segmento refletor colapsa em um ponto difrator, significando que o raio de curvatura da onda N torna-se igual ao raio de curvatura da onda PIN, ou seja, $R_N = R_{PIN}$, não fornecendo mais informação sobre curvatura do segmento refletor. Logo, inserindo a identidade $R_N = R_{PIN}$, chamada *condição de difração*, em (1), obtém-se

$$t_{SDC,hip}^2(x_m, h) \Big|_{R_N=R_{PIN}} = \left(t_0 + \frac{2\text{sen}\beta_0}{v_0}(x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2 + h^2}{R_{PIN}} \right) \quad (2)$$

Esta equação (2) depende apenas de dois parâmetros SRC (β_0 e R_{PIN}) e é chamada de aproximação do tempo de trânsito SDC (2D), pois define uma nova superfície de empilhamento chamada superfície de difração comum (SDC) (Garabito, 2001). A equação (2) é também aproximação do operador da migração de Kirchhoff pré-empilhamento na vizinhança de $P_0(x_0, t_0)$.

Uma outra importante particularização da equação (1) é para o caso que se considera a interseção da superfície SRC com o plano da configuração PMC (ponto médio comum), ou seja, $x_m = x_0$. Logo, inserindo tal condição em (1), verifica-se facilmente que a mesma simplifica-se em uma aproximação hiperbólica PMC em termos dos parâmetros SRC (Hubral, 1983)

$$t_{PMC,hip}^2(x_m = x_0, h) = t_0^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0 R_{PIN}} h^2 \quad (3)$$

onde depende apenas dos parâmetros SRC β_0 e R_{PIN} , e não depende mais da coordenada x_m .

Comparando (3) com a conhecida aproximação hiperbólica usada na correção NMO,

$$t^2(h) = t_0^2 + \frac{4}{v_{EMP}^2} h^2 \quad (4)$$

observa-se que a aproximação do tempo de trânsito SRC para este caso particular se reduz a aproximação hiperbólica clássica do método de empilhamento convencional NMO/DMO. Assim, o parâmetro mais importante do empilhamento NMO/DMO, a velocidade empilhamento v_{EMP} é expressa em termos dos parâmetros SRC:

$$v_{EMP}^2 = \frac{2v_0 R_{PIN}}{t_0 \cos^2 \beta_0} \quad (5)$$

Por esta equação (5) e com os parâmetros SRC (β_0 e R_{PIN}) bem estimados, pode-se determinar as velocidades de empilhamento para as seções PMC.

Outra particularização da aproximação do tempo de trânsito SRC resulta também de uma interseção da superfície SRC com o plano da seção AN, ou seja, $h = 0$. Então, substituindo $h = 0$ em (1), a mesma é reduzida a uma aproximação hiperbólica AN, onde o ápice da hipérbole é deslocado com respeito a x_0 :

$$t_{AN,hip}^2(x_m, h = 0) = \left(t_0 + \frac{2\text{sen}\beta_0}{v_0}(x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0 R_N} (x_m - x_0)^2 \quad (6)$$

onde esta particularização depende, agora, dos parâmetros SRC β_0 e R_N e independe da coordenada h . A terceira equação importante para a estratégia de busca SRC, não é uma particularização da equação (1) para uma configuração sísmica. No entanto, é um caso particular da equação (6) e é uma aproximação de primeira ordem desta equação.

Para obter a aproximação de primeira ordem é necessário considerar que a onda N que emerge na linha de aquisição em x_0 é uma onda plana, o que implica que $R_N \rightarrow \infty$. Substituindo, então, a consideração de $R_N \rightarrow \infty$ em (6), obtém a aproximação linear

$$t_{AN,linear}(x_m, h = 0) \Big|_{R_N \rightarrow \infty} = t_0 + \frac{2\text{sen}\beta_0}{v_0}(x_m - x_0) \quad (7)$$

onde esta equação depende apenas de um parâmetros SRC (β_0). A última particularização da equação (1) é para o caso das configurações FC (fonte comum) ou RC (receptor comum), onde estas configurações são simétricas entre si, pois descrevem as mesmas repostas hiperbólicas cinemáticas de reflexões em subsuperfície, porém, com as hipérboles invertidas. Para estas configurações é estabelecido que o ponto FC (x_F) ou RC (x_R) coincidem com o ponto de referência (x_0), o qual implica que o deslocamento do ponto médio (x_m) em relação ao ponto x_0 é igual ao meio afastamento (h), isto é, $x_m - x_0 = h$. Portanto, inserindo diferença a $(x_m - x_0) = h$ em (1), obtém-se novamente uma aproximação hiperbólica FC/RC deslocada

$$t_{FC/RC,hip}^2(x_m, h) = \left(t_0 + \frac{2\text{sen}\beta_0}{v_0}(x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0 h^2}{v_0} \left(\frac{1}{R_C} \right) \quad (8)$$

$$\text{onde } \left(\frac{1}{R_C} \right) = \left(\frac{1}{R_N} + \frac{1}{R_{PIN}} \right) \quad (9)$$

A equação (8) depende dos parâmetros R_C e β_0 , onde R_C é denominado de *raio de curvatura combinado* dos raios de curvatura R_{PIN} e R_N . Um detalhe interessante da equação (8) é que o primeiro termo desta equação não foi alterado pela inserção da condição de particularização e, assim, a equação continua dependendo de h , x_m e x_0 . No entanto, este primeiro termo permanece inalterável para não interferir no caso de um resultado da diferença $(x_m - x_0)$ ser negativo, onde no outro termo da equação (8) não há interferência no sinal resultante, pois a diferença $(x_m - x_0)$ está elevada ao quadrado em (1).

Portanto, a aproximação do tempo de trânsito SRC (1) pode depender da configuração de dados sísmicos escolhida e pode ser particularizada em diferentes equações matemáticas de aplicações específicas dos empilhamentos SRC e/ou em equações convencionais de empilhamento, migração no tempo, etc.

Estratégias de buscas automáticas dos parâmetros SRC e empilhamento SRC

O método de empilhamento SRC simula uma seção AN a partir dos dados sísmicos de cobertura, somando eventos sísmicos ao longo das superfícies de empilhamento que correspondem a cada ponto de amostragem $P_0(x_0, t_0)$ da seção AN a ser simulada. A superfície de empilhamento é definida por (1) nas coordenadas (x_m, h, t) quando são conhecidos os parâmetros SRC (β_0, R_{PIN}, R_N) .

No método de empilhamento SRC, para cada ponto AN, os parâmetros SRC ótimos que definem uma superfície de empilhamento e que ajustam melhor os eventos sísmicos verdadeiros nos dados de cobertura múltipla, podem ser determinados por meio de processos automáticos de busca baseados na medida da coerência, avaliada ao longo de vários testes de superfícies de empilhamento, onde o trio de parâmetros que produzem o valor extremo de coerência é selecionado e armazenado. A determinação dos parâmetros SRC é um típico *problema de otimização*, que pode ser resolvido aplicando um algoritmo de otimização global multidimensional, que utiliza como função-objeto a medida de coerência *semblance*, que neste caso depende dos parâmetros SRC. A função-objeto do método SRC é multimodal, isto é, uma função com mais de um extremo local. Em geral, a determinação dos trios de parâmetros SRC ótimos correspondentes aplicando um algoritmo de otimização global multidimensional são computacionalmente muito caros. Para solucionar este problema, os parâmetros SRC podem ser estimados por meio de várias estratégias baseadas em processos automáticos de busca, utilizando os casos particulares da aproximação de tempo de trânsito geral (1). A seguir, descreve-se brevemente as duas estratégias de busca dos parâmetros SRC: a estratégia de busca SRC pragmática-extendida e a estratégia de busca SRC global-local. Para simular corretamente seções AN que possuem eventos com mergulho conflitantes, além do extremo global é necessário considerar, pelo menos, mais um extremo local. Assim, para simular corretamente a interferência de eventos com mergulho conflitantes, a estratégia de busca SRC pragmática-extendida pode considerar mais de um extremo local e a estratégia de busca SRC global-local considera apenas um extremo local. Nas etapas iniciais, para ambas as estratégias, os trios de parâmetros SRC iniciais são determinados e estão localizados bem próximos aos extremos globais. Estes trios de parâmetros SRC iniciais são usados como aproximações iniciais na etapa final de otimização local tridimensional.

Estratégia de busca SRC pragmática-extendida

Consiste em dividir o problema de otimização global tri-paramétrica em buscas uni-paramétrica separadas. Os dados sísmicos de entrada necessitam ser classificados em configurações sísmicas particulares, tais como configuração PMC, configuração FC/RC, etc. As buscas uni-paramétricas nestas configurações e na seção AN

determinam os parâmetros SRC iniciais, que podem ser usados como primeiros valores de partida na etapa final de otimização local, realizada nos dados sísmicos de cobertura múltipla completos. Neste trabalho a estratégia de busca SRC pragmática-extendida é apresentada, a seguir, como sendo composta por quatro etapas.

ETAPA I: Empilhamento PMC automático. Esta etapa é chamada empilhamento PMC automático devido semelhança dele com o método de empilhamento convencional PMC. A primeira busca uni-paramétrica é realizada na configuração PMC, usando (3) para definir as curvas de empilhamento. A medida da coerência é avaliada ao longo desta curva de empilhamento, que depende de apenas de um parâmetro de empilhamento chamado de velocidade de empilhamento (v_{EMP}) (5), onde cada v_{EMP} é testada em uma malha regular discreta e define várias hipérboles nas seções PMC. A v_{EMP} que produzir a coerência mais alta é armazenada, este procedimento é semelhante a realizar uma análise de velocidade, onde nesta etapa é selecionada automaticamente através da máxima coerência. Nesta etapa, os eventos com mergulhos conflitantes não são considerados, devido as diferentes contribuições dos eventos sísmicos terem, aproximadamente, o mesmo *moveouts* na configuração PMC, por conseguinte, os valores de v_{EMP} não são significantes em situações de mergulhos conflitantes. Portanto, como resultado desta primeira etapa é obtido três seções iniciais: 1) seção de coerência, 2) seção v_{EMP} e 3) seção AN simulada.

ETAPA II: Busca AN linear e hiperbólica. Nesta etapa, a busca AN linear uni-paramétrica é restringida à seção AN simulada, resultado da etapa anterior. A medida de coerência é realizada ao longo das curvas de empilhamento dadas por (7). Para resolver o problema dos mergulhos conflitantes, as buscas adicionais de ângulos de emergência (β_0^i) são executadas, gerando um espectro de ângulos em uma malha regular. Estes espectros são analisados de acordo com o máximo de coerência dos eventos. O índice i se refere ao número de eventos com mergulhos conflitantes.

A determinação de R_N^i , relacionado a cada β_0^i , é realizada também na seção AN, resultado da primeira etapa, mas nesta busca é usada a aproximação hiperbólica de segunda ordem (6). Como resultado principal desta etapa, obtém-se: 1) seções β_0^i e 2) seções R_N^i .

ETAPA III: Busca FC/RC hiperbólica. Neste estágio das buscas, as v_{EMP} e os β_0^i já estão estimados e com a utilização de (5) R_{PIN} é calculado. Como mencionado anteriormente, v_{EMP} não é significativo em situações de mergulhos conflitantes, conseqüentemente R_{PIN} não é também significativo. Nestas situações, necessita-se de uma outra busca adicional para R_{PIN}^i , que é realizada na configuração FC/RC.

Com o conhecimento de β_0^i , R_N^i e v_{EMP} , a faixa de valores possíveis para o novo raio de curvatura R_C pode ser bem definida. A busca para este parâmetro é semelhante à busca de R_N^i , entretanto, é usada a aproximação de segunda ordem (8). Então, como resultado principal desta etapa, tem-se as seções R_{PIN}^i .

ETAPA IV: Otimização local final. Na etapa final é usada a aproximação de tempo de trânsito SRC (1) para o processo de busca local e este é realizado nos dados sísmicos de cobertura múltipla, onde os parâmetros SRC (β^{0i} , R^{0i}_{PIN} , R^{0i}_N) determinados nas etapas precedentes, são usados como aproximações iniciais no processo de otimização local, que utiliza o algoritmo *poliedro flexível* (Nelder e Mead, 1965).

Os resultados finais obtidos pela otimização local tridimensional são as seguintes seções otimizadas: 1) seção de coerência, 2) seções β_0 , 3) seção R_{PIN} , 4) seção R_N , e 5) seção AN simulada.

O procedimento de aplicação do método de empilhamento SRC baseado na estratégia de busca pragmática-extendida é descrita pelo fluxograma mostrado na Figura 1.

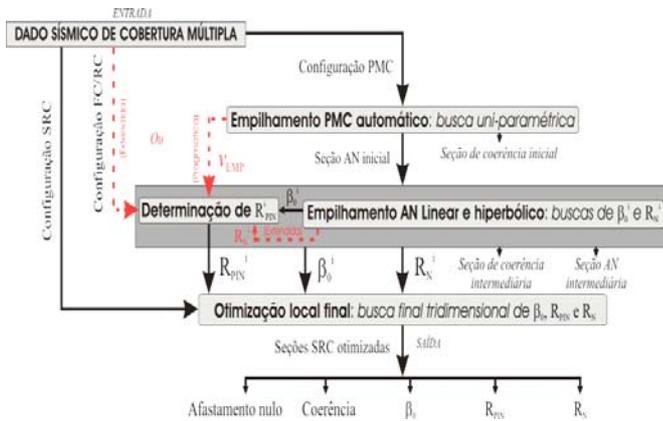


Figura 1: Fluxograma simplificado da estratégia SRC pragmática-extendida.

Estratégia de busca SRC global-local

Esta estratégia é baseada em processos de otimização global e local, que buscam estimar os três parâmetros de empilhamento SRC. As buscas são realizadas nos dados sísmicos de cobertura múltipla de entrada e somente uma busca de parâmetros de empilhamento SRC usa a seção de AN para executar a busca uni-paramétrica.

ETAPA I: Otimização global pré-empilhamento. Nesta etapa os parâmetros SRC β^i_0 e R^i_{PIN} são determinados através de uma busca global bi-paramétrica que utiliza o algoritmo *Simulated Annealing* (Kirkpatrick et al., 1983). O processo de otimização tem como entrada os dados de cobertura múltipla e usa como medida de coerência a função-objeto *semblance*, ao longo da superfície de empilhamento, definida pela equação (2). Para considerar os eventos de mergulho conflitantes durante o processo de otimização os parâmetros SRC associados a um extremo local são armazenados. Os resultados principais deste passo são: 1) seção de coerência, 2) seção β^i_0 , 3) seção R^i_{PIN} e 4) seção simulada AN. O índice $i = 1, 2$ se referem ao máximo global e máximo local.

ETAPA II: Otimização global pós-empilhamento. Esta etapa utiliza como entrada a seção AN simulada na primeira etapa, para executar uma busca global unidimensional do parâmetro R^i_N . Novamente é usado o algoritmo *Simulated Annealing* e a medida de coerência é realizada ao longo de curvas hiperbólicas definidas pela

equação (6). Após repetir este procedimento para todos os pontos P_0 da seção AN a ser simulada, obtém-se como um resultado principal duas seções R^i_N .

ETAPA III: Otimização global pré-empilhamento. Nesta etapa final é usado o algoritmo de otimização local *Quasi-Newton* (Gill et al., 1981), para executar uma busca local e estimar os melhores parâmetros de empilhamento SRC, usando os parâmetros SRC (β^{0i} , R^{0i}_{PIN} , R^{0i}_N), previamente estimados nas etapas anteriores, como aproximações iniciais. O processo de otimização local é realizado nos dados de cobertura múltipla e utiliza-se a aproximação de tempo de trânsito SRC, equação (1), para definir a superfície de empilhamento, ao longo da qual é realizada a medida de coerência. Os resultados otimizados finais são: 1) duas seção de coerência 2) duas seções β^i_0 , 3) duas seções R^i_{PIN} ; 3) duas seções R^i_N ; e 4) seção AN simulada.

O fluxograma com as etapas de processamento do empilhamento SRC baseado na estratégia de busca global-local é mostrado na Figura 2.

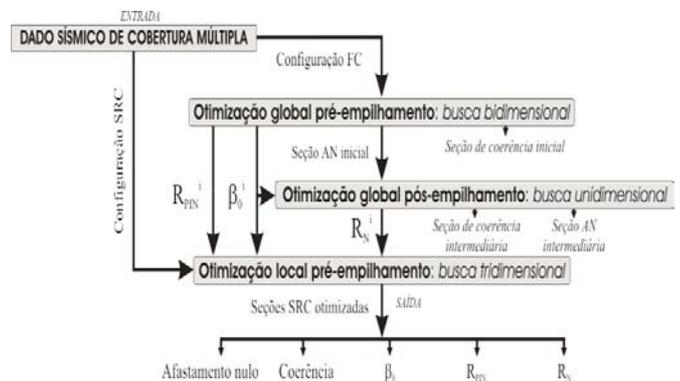


Figura 2: Fluxograma simplificado da estratégia SRC global-local.

Resultados

Para comparar, ambas, as estratégias de busca SRC, estas são aplicadas no conjunto de dados complexos 2-D Marmousi. Uma descrição do bem conhecido modelo acústico e aquisição de dados podem ser encontrados em Bourgeois et al. (1991). Para uma avaliação da comparação, também, incluímos a seção empilhada AN obtida pelo método de empilhamento convencional NMO/DMO (Figura 3) que foi processada com o pacote de processamento sísmico comercial FOCUS v. 4.01. Usou-se a versão 4.6 da implementação de empilhamento SRC baseada na estratégia de busca pragmática-extendida e a última versão da implementação SRC baseada na estratégia de busca global-local. Para ambas implementações de empilhamento SRC, os dados de entrada não foram submetidos a qualquer etapa de pré-processamento e nenhum tipo de normalização nos dados de entrada. Os parâmetros de processamento como: a abertura no ponto médio e coordenadas do afastamento foram semelhantes para ambas implementações SRC. Na estratégia de busca SRC pragmática-extendida são considerados dois eventos conflitantes.

Na Figura 4 mostra-se a seção empilhada AN obtida pelo empilhamento SRC, baseado na estratégia de busca pragmática-extendida, na Figura 5 a seção empilhada AN resultado do empilhamento SRC, baseado na estratégia de

busca global-local. Avaliando as seções AN, a última implementação de empilhamento SRC (global-local) fornece uma imagem melhor, principalmente, nas zonas mais profundas e a zona central complexa do modelo Marmousi, quando comparada com as partes equivalentes nas seções AN obtida pela primeira implementação SRC (pragmática-extendida) e pelo empilhamento convencional NMO/DMO. A implementação da estratégia de busca SRC global-local teve capacidade de imagear eventos que não puderam ser visualizados com nitidez nos outros resultados obtidos pelos empilhamentos SRC pragmático-extendido e NMO/DMO.

Conclusões

As duas estratégias de SRC são avaliadas no conjunto de dados Marmousi, demonstrando eficiência de CPU e precisão em ambas as aproximações. A aplicação revela que a estratégia de busca pragmática-extendida é mais eficiente em termos de tempo de CPU, aproximadamente três vezes menor, comparada à estratégia de busca global-local. Por outro lado, o empilhamento SRC baseado na estratégia de busca global-local, significativamente, melhora a qualidade da imagem na zona complexa do modelo Marmousi e em tempo longos, quando comparado aos resultados da primeira implementação do empilhamento SRC e também aos do método de empilhamento convencional NMO/DMO. Este fato indica que o empilhamento SRC baseado na estratégia de busca global-local pode fornecer melhorias às imagens de migrações em profundidade ou tempos de pós-empilhamento de áreas tectonicamente complexas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a agência nacional de petróleo (ANP) suporte econômico fornecido para a formação de recursos humanos e desenvolvimento da pesquisa no Curso de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará (CPGF/UFGPA) e pelo apoio financeiro em qualidade de bolsa de estudo de mestrado ao segundo autor. Ao grupo de pesquisa em geofísica da universidade de Karlsruhe pelo fornecimento do programa SRC pragmático-extendido.

Referências

- Bergler, S., Marchetti, P. H. P., Cristini, A., and Cardone, G. (2002). 3d common-reflection-surface stack and kinematic wavefield attributes. *The Leading Edge*, 21(10):1010–1015.
- Biloti, R., Santos, L., and Tygel, M. (2002). Multiparametric traveltimes inversion. *Studia Geophysica et Geodetica*, 46:177–192.
- Bourgeois, A., Bouget, M., Lailly, P., Poulet, M., Ricarte, P., and Versteeg, R. 1991. Marmousi, Model and Data. In: 52nd. EAEG meeting, Proceedings of the Workshop on Practical Aspects of Seismic Data Inversion, Copenhagen, p.56.
- Duveneck, E. (2004). Velocity model estimation with data-derived wavefront attributes. *Geophysics*, 69:265–274.
- Garabito, G., Cruz, J. C., Eiras, J., and Queiroz, N. P. (2003a). Application of the crs stack to seismic data of amazon paleozoic basin. *8th. International Congress of Brazilian Geophysical Society, Expanded Abstracts. Rio de Janeiro, Brazil.*
- 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, G., Paschoal, W. G., e Lima, A. W., 2003b. Comparação dos resultados dos métodos de empilhamentos SRC e CMP (NMO/DMO). In *Expanded Abstracts. 8th. International Congress of Brazilian Geophysical Society.*
- Gierse, G., Preeussmann, J., Laggiard, E., Boeennemann, C., and Meyer, H. (2003). Improved imaging of 3d marine seismic data from offshore costa rica by crs processing. *First Break*, pages 45–49.
- Gill, P. E., Murray, W., and Wright, M. H. (1981). *Practical Optimization*. Academic Press, London and New York.
- Höcht, G., de Bazelaire, E., Majer, P., and Hubral, P. (1999). Seismic and optics: Hyperbolae and curvatures. *J. Appl. Geophys.*, 42(3):261–281.
- Hubral, P. (1983). Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth. *Geophysics*, 48:1051–1062.
- Hubral, P. (1999). Special issue: Macro-model independent seismic reflection imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 42(3).
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P. (2001). Common reflection surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66:97–109.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., and Vecchi, M. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220:671–680.
- Mann, J. (2001). Common-reflection-surface stack and conflicting dips. In *Extended Abstracts, 71th Annual Internat. Mtg., Expl. Geophys.*
- Mann, J., Jäger, R., Müller, T., Höcht, G., and Hubral, P. (1999). Common-reflection-surface stack - a real data example. *Journal of Applied Geophysics*, 42:301–318.
- Müller, T. (1998). Common reflection surface stack versus nmo/stack and nmo/dmo/stack. *60th Mtg. Eur.Assoc. Expl. Gophys., Extended Abstracts.*
- Nelder, J. A. and Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, 7.
- Preeussmann, J., Coman, R., Enders, H., and Trappe, H. (2004). Improved imaging and avo analysis of a shallow gas reservoir by crs. *The Leading Edge*, 23(9):915–918.
- Schleicher, J., Tygel, M., and Hubral, P. (1993). Parabolic and hyperbolic paraxial two-point traveltimes in 3d media. *Geophys. Prosp.*, 41:495–513.
- Trappe, H., Gierse, G., and Preeussmann, J. (2001). Case studies show potential of common reflection surface stack - structural resolution in the time domain beyond the conventional NMO/DMO stack. *First Break*, 19:625–633.

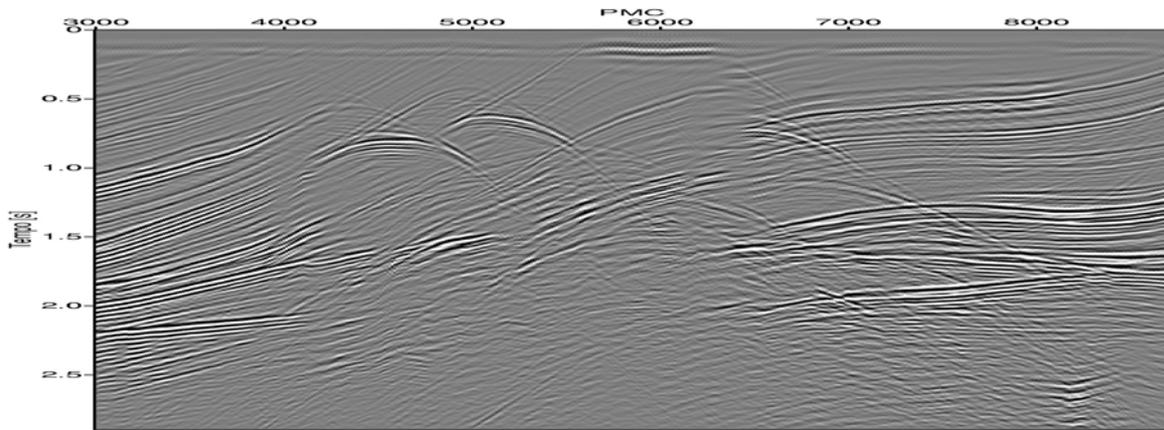


Figura 3: Seção AN simulada pelo método de empilhamento convencional NMO/DMO.

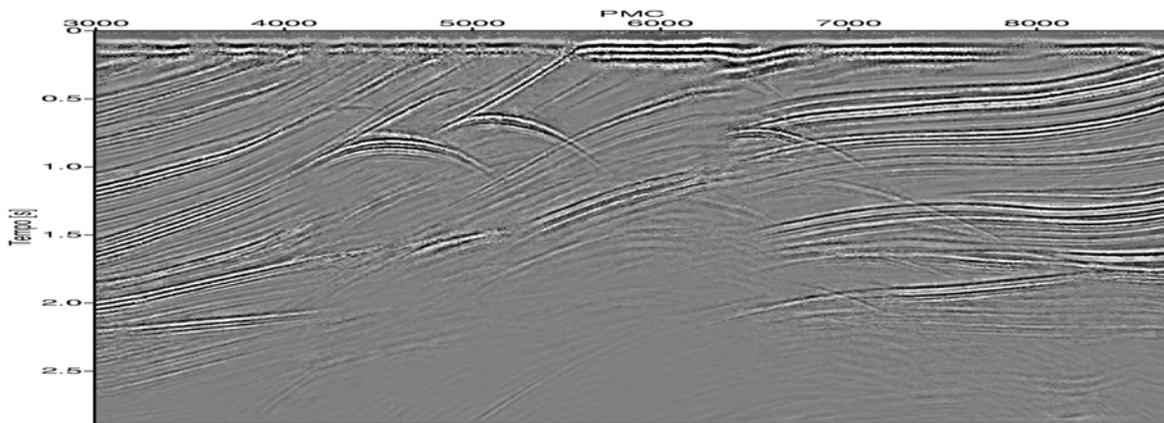


Figura 4: Seção AN simulada pelo método de empilhamento SRC pragmático-extendido.

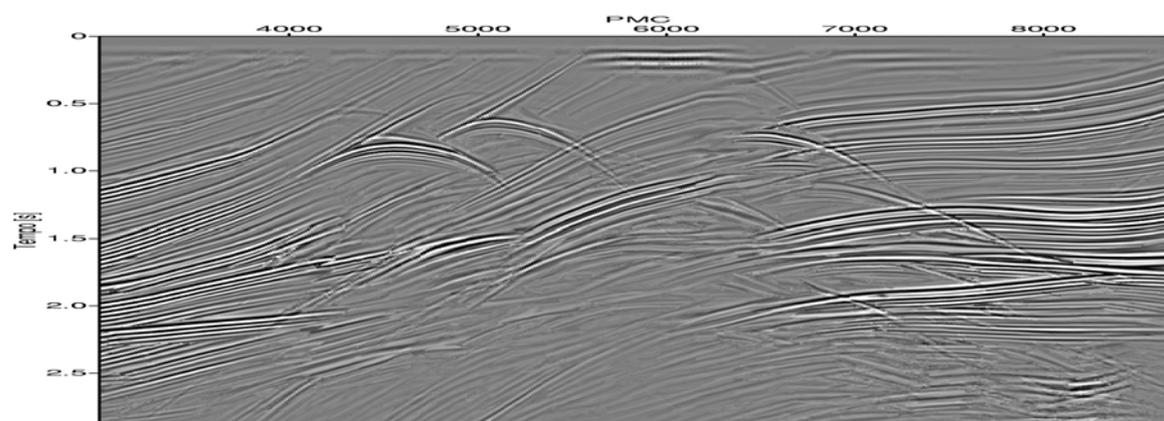


Figura 5: Seção AN simulada pelo método de empilhamento SRC global-local.