



IBP1191_06 EMPILHAMENTO DE DADOS SÍSMICOS UTILIZANDO O MÉTODO CRS

Izaías Martins Júnior¹, Marco A. Barsottelli Botelho²

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Como os reservatórios de hidrocarbonetos ocorrem normalmente em porções de bacias sedimentares que apresentam uma estrutura geológica complexa, a busca por métodos de imageamento da subsuperfície terrestre cada vez mais precisos tem sido de grande interesse da indústria petrolífera. A técnica CRS (Common Reflection Surface), criada no início deste século, é uma nova técnica de processamento de dados sísmicos que efetua o empilhamento dos dados sísmicos para simular seções de afastamento nulo (zero-offset) e tem como vantagem sobre as técnicas tradicionais que independe do macro modelo de velocidades. Neste trabalho apresentamos os empilhamentos CRS dos dados marinhos sintéticos do modelo Marmousi e dos dados terrestres reais de um modelo conhecido como Tacutu e comparamos os resultados com a técnica de empilhamento convencional CMP (Common Midpoint). Apresentamos também migrações em tempo, por mudança de fase, das seções empilhadas dos modelos Marmousi e Tacutu pelos métodos CMP e CRS. Concluimos que o empilhamento CRS, quando comparado ao empilhamento CMP, apresenta uma melhor qualidade de imagem e realça de maneira mais eficiente os eventos coerentes.

Abstract

Because the oil and gas reservoirs usually happens in portions of sedimentary basins that present a complex geological structure, the search for more accurate imaging methods has been of great interest of the petroleum industry. The CRS (Common Reflection Surface) technique, created in the begin of this century, is a new seismic data processing technique that does the stacking of the seismic data to simulate zero-offset sections and has the advantage over the traditional techniques that it does not depend on the macro velocity model. In this work we present the CRS stacks of the synthetic sea data of the Marmousi model and of the terrestrial real data of a model known as Tacutu and we do the comparison of this results with the traditional stacking technique CMP (Common Midpoint). We also present phase shift time migration of the stacked data of the Marmousi and Tacutu models obtained from the CMP and CRS methods. We conclude that the CRS stacking, when compared to the CMP stacking, presents a better image quality and emphasizes more efficiently the coherent events.

1. Introdução

A exploração de petróleo e gás envolve uma gama de investigações geológicas, geoquímicas e geofísicas, na busca de reservatórios economicamente ativos. Das investigações geofísicas, a sísmica de reflexão é o principal método

¹ Mestrando, Geofísica – CPGG/UFBA

² Doutor, Professor – CPGG/UFBA

utilizado para imageamento de subsuperfície, por apresentar maior resolução das feições estruturais, podendo revelar possíveis armadilhas para hidrocarbonetos.

Um dos mais importantes passos na sequência do processamento de dados sísmicos consiste do chamado empilhamento, que tem o intuito de aproveitar a redundância na amostragem, através de interferências construtivas de eventos sísmicos coerentes e interferências destrutivas de eventos aleatórios. Aumenta-se desta maneira a razão sinal ruído e obtém-se uma imagem de subsuperfície com melhor resolução.

No processamento convencional os dados sísmicos são separados em famílias CMP e empilhados sobre uma curva de tempo de trânsito que tem como parâmetro único a velocidade de empilhamento NMO (Normal Moveout). Esta velocidade é determinada pelo operador, de modo interativo, através de painéis de coerência.

Assim como o método convencional CMP, a técnica CRS (Müller, 1999) tem como objetivo a produção de uma seção simulada de afastamento nulo, porém, diferente do CMP, o CRS não é um método interativo, pois no CRS o modelo de velocidade é determinado automaticamente.

O empilhamento CRS é feito utilizando a aproximação hiperbólica do tempo de trânsito em função de um trio de parâmetros associados ao raio normal, diferente do empilhamento CMP, que utiliza somente um parâmetro, que é a velocidade de empilhamento. Esta aproximação hiperbólica deriva da expansão de Taylor de segunda ordem do tempo de trânsito de reflexão dos raios paraxiais na vizinhança de um raio normal, e pode ser obtida pela teoria do raio paraxial (Schleicher et al., 1993; Tygel et al., 1997) ou pela aproximação geométrica (Höcht et al., 1999). Os parâmetros CRS a serem determinados no processamento sísmico são: o ângulo de emergência do raio normal α , o raio de curvatura da onda ponto de incidência normal R_{NIP} e o raio de curvatura da onda normal R_N . O parâmetro α determina a orientação angular do elemento refletor, R_{NIP} determina a distância entre a superfície de aquisição e o ponto refletor e R_N determina a curvatura do refletor.

2. Empilhamento CRS

O empilhamento CRS apresentado neste trabalho é o descrito por Mann (2002) e utiliza a Equação 1 como tempo de trânsito da onda sísmica,

$$t^2(x_m - h) = \left(t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right) \quad (1)$$

onde v_0 é a velocidade na superfície de aquisição, considerada constante, x_m é o ponto médio do par fonte e receptor e x_0 é o ponto onde o raio ZO (zero-offset) emerge. Os valores iniciais do ângulo de emergência do raio normal α , o raio de curvatura da onda normal R_N , e o raio de curvatura da onda ponto de incidência normal R_{NIP} , são então encontrados através de uma busca global automática, feita por análise de coerência. Neste trabalho utilizamos o semblance (Equação 2) como análise de coerência,

$$S = \frac{\sum_t \left(\sum_{i=1}^M U_{i,t(i)} \right)^2}{M \sum_t \sum_{i=1}^M U_{i,t(i)}^2} \quad (2)$$

onde $U_{i,t(i)}$ é a amplitude do sinal sísmico indexado pelo número do traço sísmico $i=1, \dots, M$ e a curva ou trajetória de empilhamento, $t(i)$. O sobrescrito M é o número de traços.

Como uma busca direta pelos três parâmetros CRS da equação hiperbólica do tempo de trânsito em uma única etapa seria um processo muito dispendioso computacionalmente, tendo em vista o número muito grande de dados em um levantamento sísmico, uma procura mais eficiente se faz necessário. Para tanto, o problema inicial é decomposto em três problemas independentes, onde uma busca pragmática por um único parâmetro é feita em cada etapa. Este processo é descrito em Muller (1999) e Muller et al. (1998). Nesta etapa da busca, considerações são feitas para que as variáveis sejam separadas e encontradas em cada processo.

A primeira etapa é denominada *empilhamento CMP automático* e é realizada considerando $x_m = x_0$, na equação hiperbólica. Comparando o resultado com a equação CMP, temos

$$t^2(h) = t_0^2 + \frac{4h^2}{v_{emp}^2}, \quad \text{onde } v_{emp}^2 = \frac{2R_{NIP}v_0}{t_0 \cos^2 \alpha} = \frac{2v_0}{t_0 q} \quad (3)$$

onde q é determinado e então é feito um empilhamento dos dados na configuração CMP, onde obtendo-se uma primeira seção simulada ZO (seção de afastamento nulo).

Na etapa seguinte, faz-se $h = 0$ na equação de tempo de trânsito hiperbólico e, para obter uma aproximação de primeira ordem, considera-se que a auto-onda N que emerge na linha de aquisição em x_0 é uma onda plana, o que implica $R_N \rightarrow \infty$ (Müller, 1999). Então temos

$$t_{AN}(x_m, h = 0)|_{R_N \rightarrow \infty} = t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \quad (4)$$

De posse dos valores para q e para o ângulo de emergência α , é possível encontrar o valor de R_{NIP} e através da equação do tempo de trânsito hiperbólico (Equação 1) se determina o último parâmetro R_N .

De posse dos parâmetros iniciais a otimização é feita através do método do poliedro flexível (Himmelblau, 1972; Mann, 2002), a partir dos parâmetros CRS iniciais.

O programa utilizado no empilhamento CRS do presente trabalho foi elaborado na Universidade de Karlsruhe, no âmbito do consórcio Wave Inversion Technology (WIT). Este programa, além do empilhamento CRS, gera uma variedade de atributos pertinentes ao processamento em questão, para fins de avaliação do resultado, tais como: um modelo de velocidade de empilhamento em tempo, seções de coerência para cada parâmetro CRS encontrado, uma seção de empilhamento CMP, uma seção CRS empilhada através dos parâmetros CRS ótimos e uma através dos parâmetros iniciais, uma seção migrada em tempo, entre outros.

3. Resultados

Os ensaios deste trabalho foram realizados nos dados sintéticos marinhos do Marmousi e nos dados terrestres reais do Tacutu.

3.1 Dados Marinhos Sintéticos Marmousi

O modelo Marmousi é composto de dados sintéticos, baseados em informações reais de perfilagem marinha na bacia de Cuanza (Angola). Seus dados são ordenados em famílias CDP (Common Depth Point), obtidas a partir de modelagem utilizando o campo de velocidades mostrado na figura 1. O tempo de registro foi de 2.9s, com 725 registros a cada 4ms.

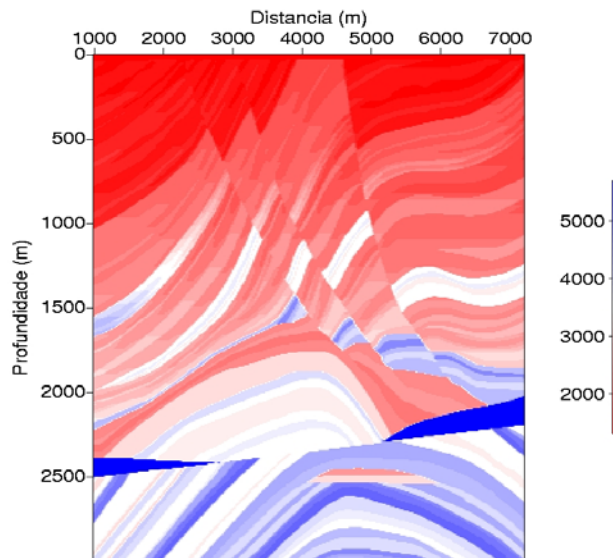


Figura 1. Campo de velocidades do modelo sintético Marmousi

O primeiro passo para o empilhamento CRS é o empilhamento CMP automático, realizado através da Equação 3, como foi descrito na seção 2. Como os dados Marmousi são dados marinhos, o valor da velocidade da onda sísmica na superfície de aquisição v_0 foi escolhido como sendo 1500m/s. A seção CMP empilhada, resultante do início do processamento CRS, pode ser vista na Figura 2. Na Figura 3 é apresentada a migração em tempo da seção CMP

empilhada, realizada através do método de mudança de fase com velocidade de migração de 1700m/s, utilizando o pacote de processamento de dados sísmicos SU (Seismic Unix).

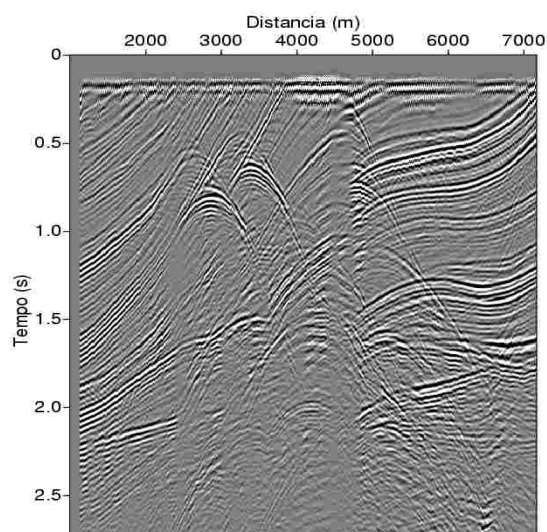


Figura 2. Seção de empilhamento CMP automático dos dados Marmousi.

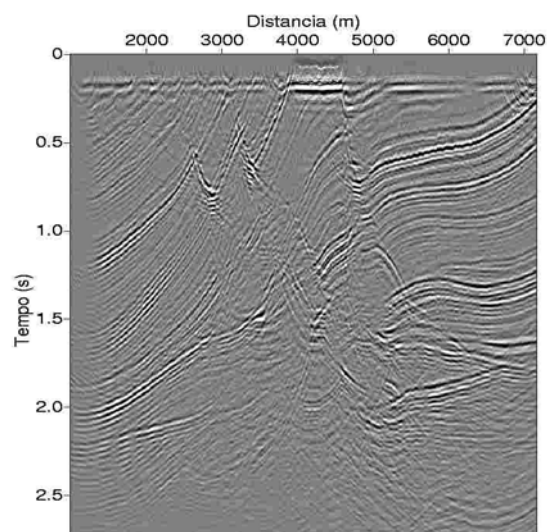


Figura 3. Seção de empilhamento CMP automático dos dados Marmousi migrada em tempo através do pacote SU (SeismicUnix) usando o método de mudança de fase com velocidade de 1700m/s.

Vimos que tanto o empilhamento CMP automático (Figura 2) quanto o empilhamento CRS (Figura 4) dos dados Marmousi não forneceram uma boa imagem para tempos de trânsitos superiores a 2.3s.

As seções de coerência dos empilhamentos CRS e CMP automático são mostradas nas Figuras 4 e 5, respectivamente. É facilmente observável que a seção de coerência obtida através do empilhamento CRS realça os eventos coerentes (refletores), enquanto a seção de coerência referente ao empilhamento CMP automático não distingue com clareza os refletores.

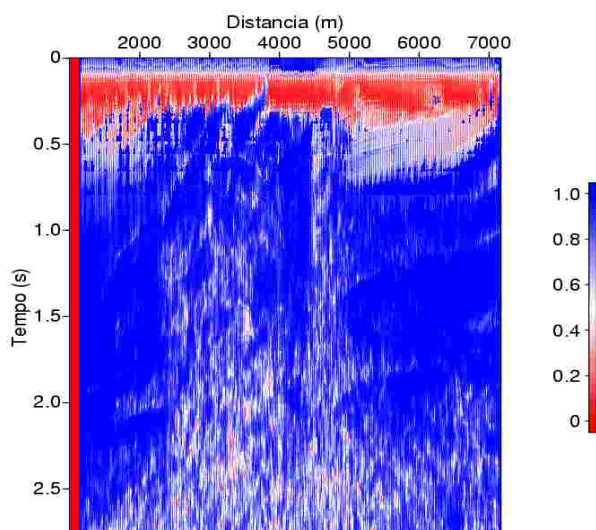


Figura 4. Seção de coerência do empilhamento CMP automático dos dados Marmousi.

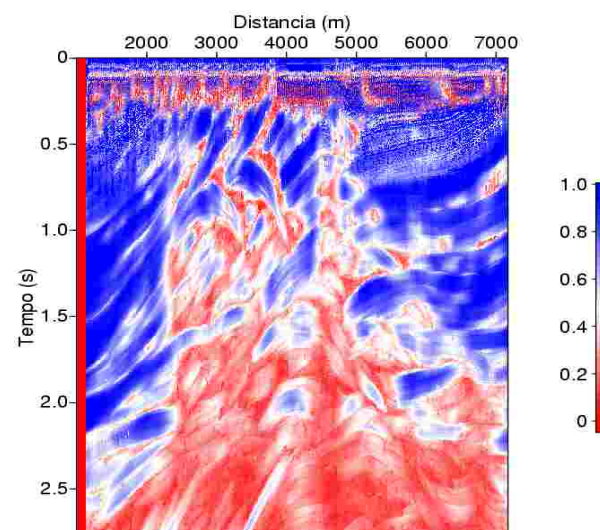


Figura 5. Seção de coerência do empilhamento CRS dos dados Marmousi.

Na Figura 6, podemos visualizar a seção empilhada CRS, que é o objetivo do processo de empilhamento CRS. Vemos que os eventos refletores se destacam claramente em relação aos eventos aleatórios. Na Figura 7 é apresentada a migração em tempo da seção empilhada CRS, que foi obtida através da migração por mudança de fase usando uma velocidade de migração constante igual a 1700m/s utilizando o pacote de processamento de dados sísmicos SU

(Seismic Unix). É facilmente perceptível que a migração realizada colapsou as hipérboles de difração apresentadas na seção empilhada CRS, facilitando a identificação das falhas.

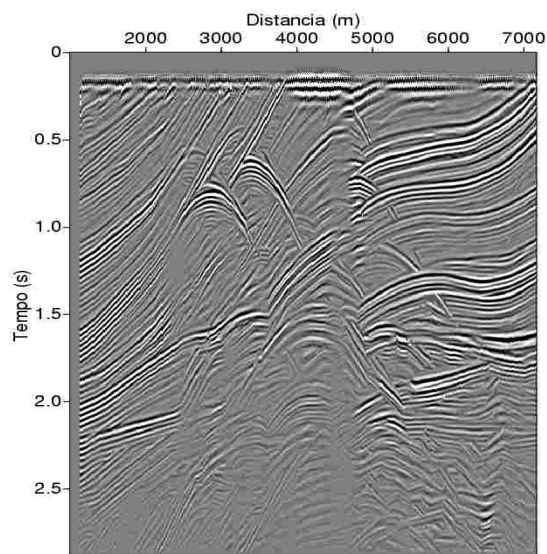


Figura 6. Seção de empilhamento CRS dos dados Marmousi.

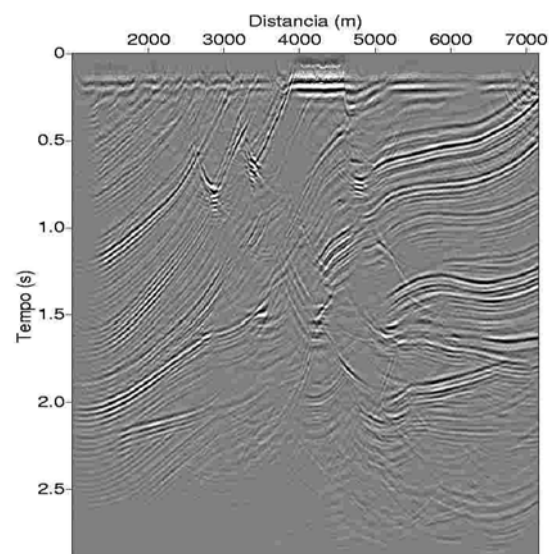


Figura 7. Seção de empilhamento CRS dos dados Marmousi migrada em tempo através do pacote SU (Seismic Unix) usando o método de mudança de fase com velocidade de 1700m/s.

2.2 Dados Terrestres Reais do Tacutu

Os dados do Tacutu são resultados de um levantamento sísmico terrestre na bacia sedimentar do Tacutu, disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Estes dados foram levantados em 1981 pela PETROBRAS e contêm 179 registros de tiro da linha sísmica RL-5090. As informações da aquisição são: arranjo *split-spread*, lanço de 2500-150-0-150-2500m, 96 canais, distância entre geofones de 50m e distância entre pontos de tiro de 200m. Como se trata de dados reais, nenhum conhecimento do macro modelo de velocidades foi considerado a priori, o que tornaria este processamento um trabalho complexo para ser realizado pelos métodos convencionais. Neste caso, o CRS se torna uma ferramenta poderosa de processamento, pois a única informação a priori do modelo geológico necessária para o processamento CRS é a velocidade da onda sísmica na superfície de aquisição v_0 . Neste trabalho v_0 foi escolhido como sendo 2000m/s, por se tratar de um levantamento terrestre.

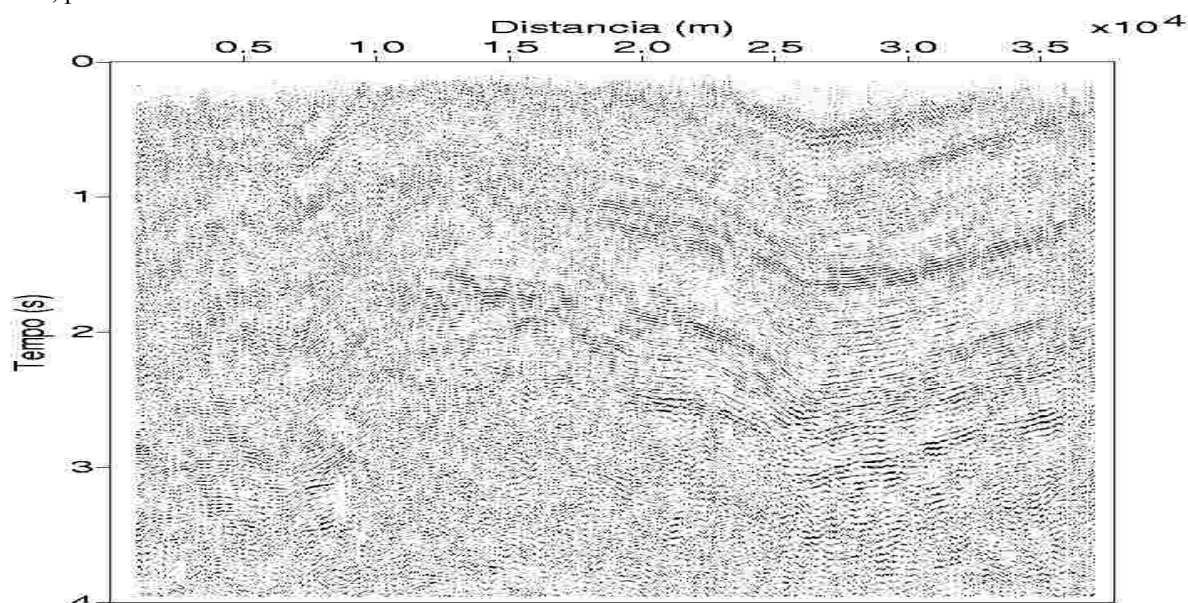


Figura 8. Seção de empilhamento CMP automático dos dados Tacutu.

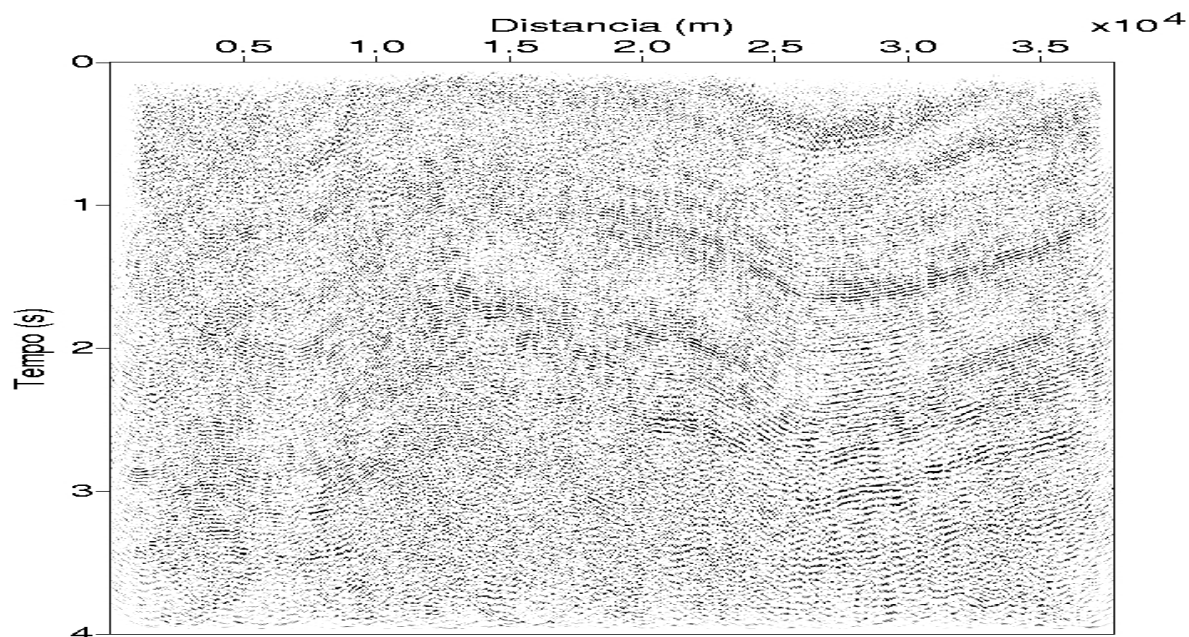


Figura 9. Seção CMP empilhada dos dados Tacutu migrada em tempo, através do pacote SU (Seismic Unix) usando a migração por mudança de fase com velocidade de 3000m/s.

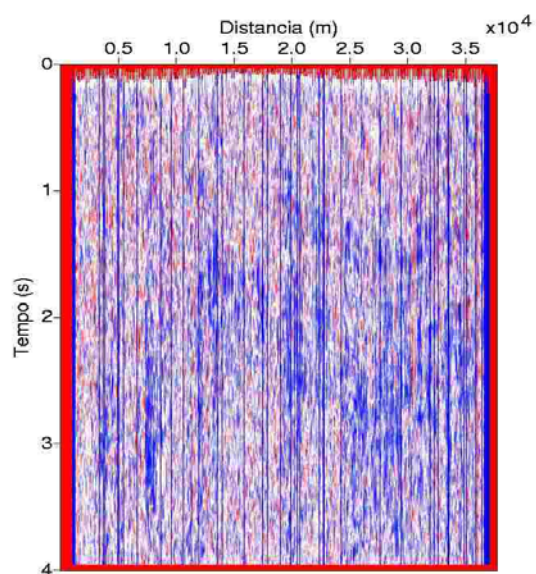


Figura 10. Seção de coerência do empilhamento CMP automático dos dados Tacutu.

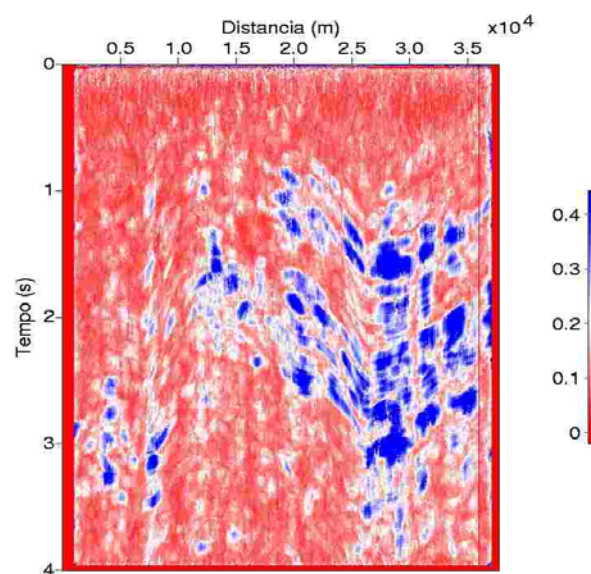


Figura 11. Seção de coerência do empilhamento CRS dos dados Tacutu.

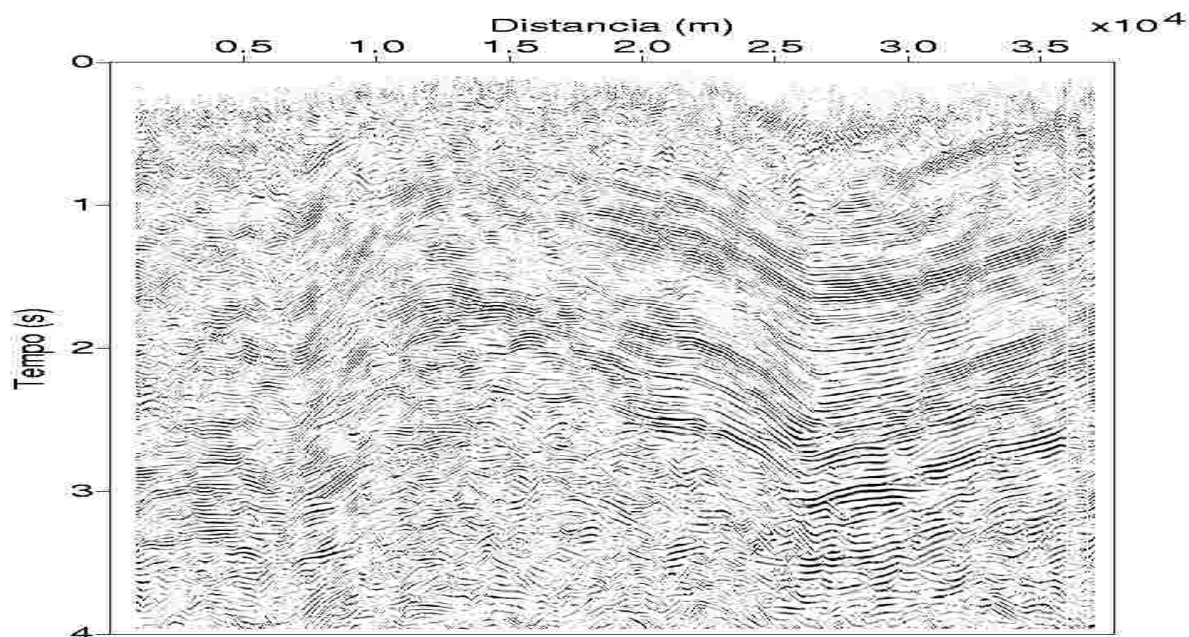


Figura 12. Seção de empilhamento CRS dos dados Tacutu.

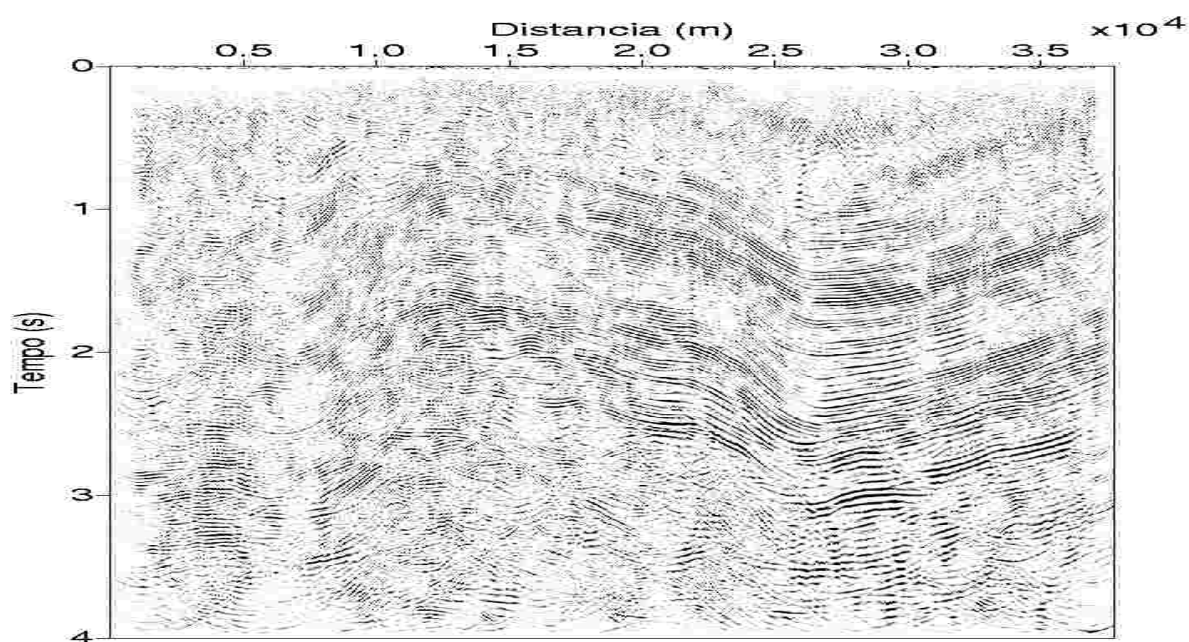


Figura 13. Seção de empilhamento CRS dos dados Tacutu migrada em tempo através do pacote SU (SeismicUnix) usando o método de mudança de fase com velocidade de 3000m/s.

Assim como no processamento dos dados Marmousi a seção empilhada pela técnica CRS, mostrada na Figura 12, apresenta uma melhor qualidade no imageamento dos refletores, quando comparada ao empilhamento CMP (Figura 8). Podemos ver claramente pelas seções de coerência (Figuras 10 e 11) que o processamento CRS realça os eventos coerentes.

A migração em tempo da seção empilhada CRS foi realizada através da técnica de mudança de fase, com uma velocidade de migração constante 3000m/s, utilizando o pacote de processamento de dados sísmicos SU. O resultado obtido está apresentado na Figura 13

4. Conclusões

Tanto no processamento dos dados Marmousi como no processamento dos dados Tacutu foi possível perceber que, comparando o empilhamento CRS com o empilhamento CMP automático, a qualidade da imagem de subsuperfície é muito superior no processamento CRS.

No processamento dos dados Marmousi, tanto o empilhamento CRS quanto o CMP, não forneceram uma imagem satisfatória para tempos de trânsitos superiores a 2.3s.

Nas migrações dos dados Marmousi foi possível perceber que as hipérboles de difração foram colapsadas e o resultado da imagem final foi satisfatória, considerando que a migração foi efetuada com uma velocidade constante.

Quanto à qualidade de imagem dos dados migrados vimos que as seções migradas obtidas a partir do empilhamentos CRS apresentam imagens mais nítidas que as obtidas pelo empilhamento CMP, tanto no processamento dos dados Marmousi quanto nos dados Tacutu.

Mesmo sendo o processamento CRS uma ferramenta não interativa, o operador ainda é a peça fundamental no resultado final do empilhamento, afinal, a escolha dos parâmetros de entrada do programa ainda é feita por ele.

Apresentemos aqui apenas os resultados iniciais de nossa pesquisa. Nosso próximo passo será refinar os parâmetros de entrada do programa, pois esperamos que este refinamento melhore consideravelmente o resultado final do empilhamento.

5. Agradecimentos

Agradecemos a ANP pelo apoio financeiro na forma de bolsa de estudos.

Agradecemos também a Zeno Heilmann, por ceder o programa para que pudéssemos realizar este trabalho.

6. Referências

- HIMMELBLAU, D.. Applied Nonlinear Programming. McGraw-Hill, New York, 1972
- HÖCHT, G., DE BAZELAIRE, E., MAJER, P., HUBRAL, P. Seismics and optics: hyperbolae and curvatures. Journal of Applied Geophysics., 42(3,4):261-281, 1999
- MANN, J. Extensions and Applications of the Common-Reflection-Surface-Stack-Method. Alemanha, Universidade de Karlsruhe. (Tese de Doutorado). 2002
- MÜLLER, T. Common Reflection Surface Stack versus NMO/Stack and NMO/DMO/Stack. In: EAEG Meeting, 60., Extended Abstracts, p. 1-20. 1998
- MÜLLER, T. The common reflection surface stack method: Seismic imaging without explicit knowledge of velocity model. Alemanha, Universidade de Karlsruhe. (Tese de Doutorado). 1999
- SCHLEICHER, J., TYGEL, M., HUBRAL, P. Parabolic and hyperbolic paraxial twopoint traveltimes in 3D media. Geophysical Prospecting, 41(4):495-514. 1993
- TYGEL, M., MULLER, T., HUBRAL, P. Schleicher, J.; Eigenwave based multiparameter traveltime expansions. In: SEG Meeting, 67., Dallas, Expanded Abstracts, p. 1770-1773. 1997