



Modelagem e Processamento Sísmico 2D Usando o Pacote "SEISMIC UN*X"

João Batista Santos Filho (UFPA), Daniel Galvão Ferreira (UFPA), Danilo Galvão Ferreira (UFPA) e Rafael dos Santos Furtado (UFPA)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th 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

This work was developed from synthetic data in order to simulate the coastal basins of the continental shelf of eastern Brazil, simulating also the accumulations of hydrocarbons that exist in this basins, and the types of reservoirs. The main objective of this work, was to present the complete flowchart, with regard to all stages of the work of the seismic method, ie from the configuration of subsurface geological model, from data acquisition to complete the processing stage seismic data, including from the velocity analysis, NMO correction, stacking, and finally the migration. The latter is used to make the scans, ie, show how it would actually subsurface geology in the target region, is this image that will be used by the interpreter. The techniques follow a predetermined flowchart and realized following a Makefile that works as a organizer of steps. The process used is known as conventional processing and have the following main steps: setting geometry; filtration; velocity analysis; stacking; migration. This steps were performed on the desktop Linux and called Seismic Unix developed by Central Wave Phenomena (CWP) from the Colorado School of Mines, installed on the machines in the laboratory of the seismic processing, PROSIS.

Introdução

O processamento de sinais sísmicos é peça chave na exploração petrolífera. O caminho entre aquisição de dados e a interpretação sísmica é composto por uma trilha de processos interdependentes, como remoção de ruídos de diversas origens, reorganização de dados sob alguns critérios, convolução e deconvolução sísmica, filtragens, empilhamento, migração sísmica e etc.

No presente trabalho foram discutidas as etapas da modelagem, do processamento e do imageamento sísmicos. Onde, pretende-se a partir de um modelo geológico simples em duas dimensões, simular todo o processamento sísmico necessário, desde a aquisição até a geração de seções sísmicas adequadas para a interpretação. Para isso foi utilizado o Seismic Un*x que é muito difundido nas Universidades e Centros de Pesquisas no ensino e na pesquisa em Geofísica Aplicada. O pacote Seismic Un*x é bem conhecido pela comunidade científica especializada por abranger parte substancial desses processos, e também por ser um

projeto de código aberto, o que possibilita o entendimento dos algoritmos do pacote.

As bacias sedimentares são de vital importância para a indústria petrolífera, já que são nestas bacias que se encontram as estruturas que podem ou não abrigar os depósitos de petróleo. O Brasil possui 6.430.000 km de bacias sedimentares, dos quais 4.880.000 km em terra e 1.550.000 km em plataforma continental. Na Figura 1 pode-se observar a divisão das bacias sedimentares brasileiras.



Figura 1 - Distribuição das bacias sedimentares brasileiras.

Neste trabalho, a ênfase maior foi em construir um modelo sintético que pudesse simular de maneira satisfatória a geologia da região em destaque. No caso deste trabalho, foi feito um modelo baseando-se na geologia com presença de estrutura salina (ou corpo salino), Figura 2. Esse modelo utilizou dados geológicos aproximados dos materiais que formam as camadas em subsuperfície e, também, no que diz respeito às velocidades da onda sísmica.

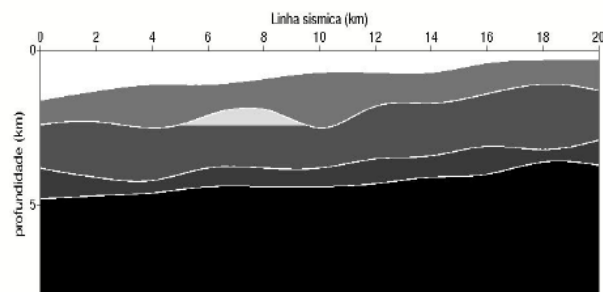


Figura 2 - Modelo sintético com 6 camadas simulando estrutura salina.

Metodologia

O processamento utilizado é multicanal e segue um fluxograma, uma sequência de eventos que pode variar de acordo com as características do dado e objetivos do processamento. As principais etapas do processamento são: geometria de aquisição, análise de velocidades, empilhamento, deconvolução e migração, no caso deste trabalho optou-se por usar a migração de Kirchhoff. As demais técnicas de processamento são secundárias e tem como principal objetivo aperfeiçoar os processos principais. Neste trabalho, a etapa de deconvolução não será usada, pois se trata de dados sintéticos e, não há a necessidade de aplicar esse método juntamente com a filtragem de dados que, também, é aplicada em dados reais para obter um melhor resultado no final do processamento. Toda a etapa de modelagem e processamento dos dados sísmicos (por exemplo: análise de velocidades e migração de Kirchhoff pós-empilhamento em tempo), foi realizado com o software CWP/SU (COHEN; STOCKWELL, 2005), um sistema livre. A rotina do processamento foi baseada num arquivo makefile, que é executado por partes, com base num programa previamente testado e experimentado (FOREL et al., 2005).

Os parâmetros utilizados para a aquisição dos dados sísmicos estão descritos na tabela abaixo:

Descrição dos parâmetros	Parâmetros utilizados
Numero de tiros	740
Numero de geofones	60
Intervalo de amostragem	6 ms
Tamanho do levantamento	20 km
Numero de traços	44400
Distância entre os receptores	25 m
Distância entre as fontes	25 m

Tabela 1 – Tabela dos parâmetros utilizados.

O fluxograma de um processamento sísmico convencional é composto de duas etapas, a primeira é conhecida como pré-processamento e a segunda é o próprio processamento. A etapa de pré-processamento não foi aplicada neste trabalho, pois a mesma não se aplica a dados sintéticos.

A fase do processamento sísmico envolve técnicas como análise de velocidades, correção NMO, empilhamento CMP, e migração. Essa fase tem início com a análise de velocidades, que envolve a estimativa indireta das velocidades em subsuperfície. As informações de velocidade são repassadas à próxima etapa para correção de NMO. Após a correção NMO obtém-se uma seção empilhada bruta ou preliminar (*brute stack*). Estas etapas foram repetidas dentro da rotina de processamento a fim de melhorar a qualidade da seção empilhada resultante. A seqüência das etapas desenvolvidas nessa fase é ilustrada no fluxograma abaixo (Figura 3).

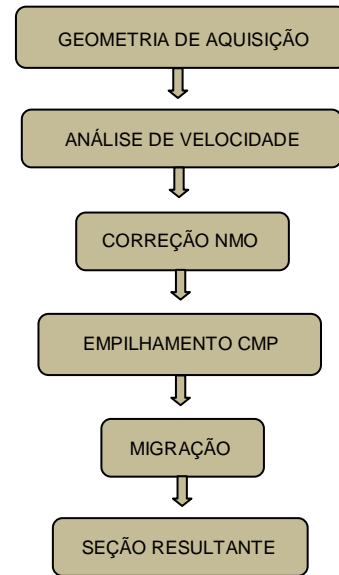


Figura 3 – Fluxograma do processamento.

Geometria

A organização da geometria do dado é uma importante etapa do início do processamento de dados sísmicos. A organização se dá baseando-se nas informações geológicas a priori para possibilitar uma melhor qualidade na simulação da geometria pelo modelo que está sendo construído para tal. A geometria traz consigo informações essenciais para o sucesso do processamento sísmico, como o posicionamento de fontes e receptores, número de tiros, número de registros, e etc. As informações sobre a geometria são armazenadas no cabeçalho (header) de cada traço sísmico, e possibilita, com isso, a realização das etapas posteriores do processamento. A etapa da geometria caracteriza-se pela inserção dos parâmetros e, também, pela organização dos dados na forma de cubo de dados, de onde as informações necessárias para o empilhamento serão retiradas.

Análise de velocidade

A análise de velocidade é importante para o processamento e o imageamento de seções sísmicas de reflexão, visando medir parâmetros físicos de reservatórios de petróleo e gás. A análise de velocidade baseada no dado pode ser aplicada para dados reais e/ou sintéticos, esse último é o foco principal deste trabalho. A análise de velocidade tem a finalidade de estimar a função distribuição de velocidade que melhor realiza a correção NMO. Esta análise realiza-se em alguns CDPs, nos restantes realiza-se uma interpolação. Na interpretação das seções semblance, as velocidades escolhidas devem ter como intuito eliminar eventos conflitantes, incluindo as múltiplas.

O semblance é definido como uma medida de coerência multicanal (SHERIFF, 1975), e a partir da correção NMO dos tempos de chegada dos eventos na seção que é feita a verificação das velocidades escolhidas numa seção

CMP. O painel de correção deve apresentar os eventos horizontalizados.

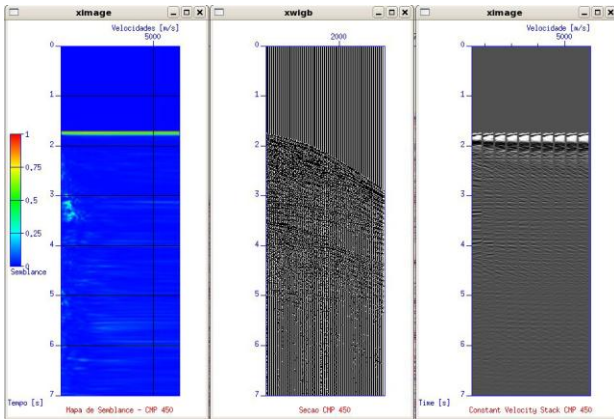


Figura 4 – À esquerda temos o painel de semblance do espectro de velocidade. Ao centro temos uma seção CMP sem correção NMO. À direita temos um painel de correção NMO com velocidade constante (CVS) em 10 partes, onde os níveis que mais se destacam horizontalmente indicam as velocidades desejadas.

Correção NMO

A correção NMO é baseada na configuração CMP, e parte da suposição de que a subsuperfície é composta de camadas plano-horizontais, homogêneas e isotrópicas, e regida pela equação hiperbólica do tempo de trânsito. Esta correção não é adequada na presença de refletores inclinados por não satisfazer a suposição do modelo plano-horizonta. A correção NMO consiste em corrigir horizontalizando os traços de uma família CDP, em seguida adicioná-los para produzir um traço único. Este processo amplifica a razão sinal-ruído. O CDP corrigido de NMO deve mostrar refletores contínuos. Se refletores apresentarem-se curvados para cima ou para baixo, isto pode indicar inversão de velocidade; respectivamente, velocidade mais alta ou mais baixa, ou seja, para um imageamento com resultados mais satisfatórios faz-se necessário a utilização da velocidade adequada, e o campo de velocidade se torna fundamental na correção e posterior empilhamento NMO. A Figura 5 exemplifica a correção NMO.

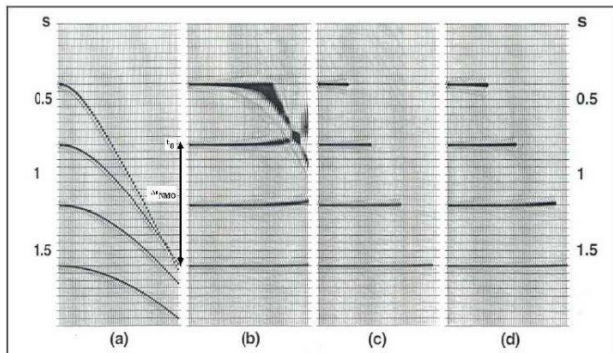


Figura 5 – (a) Família CDP para um modelo de 5 camadas com velocidades constantes. (b) Após a correção de NMO com indicações de t_{NMO} e t_0 ilustrando, respectivamente, o sobre tempo normal e o tempo de percurso em afastamento-nulo para a segunda interface. (c) e (d) ilustram a aplicação do silenciamento oblíquo para dois valores diferentes do valor de estiramento (YILMAZ, 1987).

Empilhamento CMP

O empilhamento CMP envolve diversas operações que fazem parte da técnica convencional de processamento de dados sísmicos, assim sendo, pode-se dizer que este método de empilhamento começa na etapa de aquisição de dados sísmicos com aplicação da técnica de cobertura múltipla. O empilhamento CMP está baseado no fato de que um ponto refletor é aproximadamente amostrado por vários pares de fontes e receptores, que correspondem a diferentes trajetórias de reflexão comum, cujos tempos de trânsito variam de um traço a outro. Estas diferenças nos tempos de trânsito dos eventos reflexivos com relação a seus tempos de referência ou de afastamento fonte-receptor nulo são corrigidos pela aplicação das correções dinâmicas (NMO e DMO). Posteriormente à aplicação do silenciamento nos traços corrigidos, estes são somados, resultando, desta maneira, um único traço por cada seção CMP que é considerado como o equivalente a um traço com fonte-receptor coincidentes ou de afastamento nulo. O conjunto de traços gerados configura a seção empilhada de afastamento nulo, em que eventos de reflexão, associados aos refletores horizontais, correspondem a um mesmo ponto.

A vantagem disso é o aumento significativo da relação sinal/ruído ocasionado pela interferência construtiva de eventos coerentes, como: reflexões primárias e difrações, além da interferência destrutiva dos ruídos aleatórios e coerentes, como as reflexões múltiplas. Este processo pode ser resumido em: identificação das reflexões primárias, análise de velocidades, correção de NMO e empilhamento, cujo resultado é a seção empilhada de afastamento nulo.

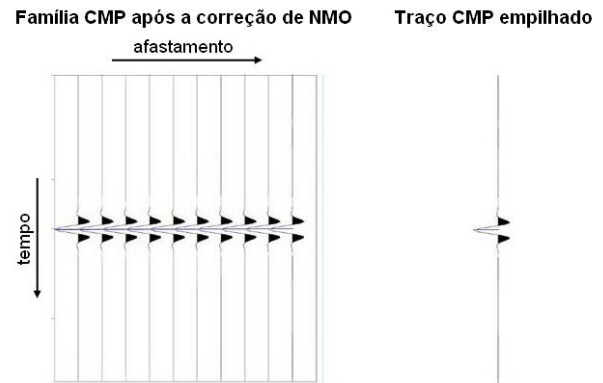


Figura 6 – O processo de empilhamento de vários traços após a correção NMO produz um único traço com afastamento nulo (YILMAZ, 1987).

Migração

Na subsuperfície, a propagação da onda sísmica pode ser representada por uma série de pontos, nos quais a energia é refletida para os receptores posicionados na superfície. O objetivo da migração é, com um bom modelo de velocidades, estimar o posicionamento correto, ajustar estes pontos nos seus devidos locais. Para isto, é necessário um bom modelo de velocidade para representar a subsuperfície e um algoritmo para

transformar a seção sísmica em uma imagem de refletores. Quanto ao tipo, a migração pode ser no tempo ou em profundidade e pré ou pós-empilhamento. Quanto ao domínio, no tempo-espaço ou na frequência. A aplicação das técnicas de migração tem três etapas: (1) o campo registrado é retro-propagado na direção do ponto-refletor; (2) o campo da fonte é propagado na direção do ponto-refletor; (3) a medida da condição de imagem é empregada para decidir em relação à posição do ponto-refletor.

Migração de Kirchhoff

A migração de Kirchhoff descende do antigo método estatístico do empilhamento de difrações, o qual trabalha somando as amplitudes dos dados de entrada (x, t) ao longo de uma hipérbole de difração, cuja curvatura é governada por uma função velocidade. O avanço ocorreu quando Schneider (1978) apresentou uma solução exata para equação da onda acústica via integral de Kirchhoff, transformando o método estatístico em um determinístico.

Este método determinístico de Kirchhoff revolucionou a migração sísmica, pela flexibilidade e eficiência de aplicação. Por conta disso, outras técnicas foram desenvolvidas baseadas também neste princípio, as quais ficaram conhecidas como os métodos de Kirchhoff. Basicamente, eles podem ser classificados em: migrações em tempo, baseadas apenas nos tempos duplos de reflexão e migrações em profundidade, fundadas em modelos de velocidade intervalar para fornecer a posição dos refletores em unidades de comprimento.

Nas migrações em tempo, os tempos de difração são geralmente calculados de forma analítica, em que para um determinado ponto a ser migrado é utilizada uma velocidade equivalente para o meio acima desse ponto. Já nas migrações em profundidade, as curvas de tempos de difração são calculadas por meio de um algoritmo de traçado de raios ou também por soluções numéricas da equação iconal.

Integral de Kirchhoff

A migração Kirchhoff por empilhamento considera uma reflexão primária (domínio do dado não migrado) como sendo formada pelo envelope de todas as curvas de difração oriundas de pontos difratores posicionados sobre o respectivo refletor (domínio do dado migrado). Já o método por espalhamento considera o refletor (domínio do dado migrado) como envelope de todas as curvas isócronas calculadas para pontos situados sobre a respectiva reflexão (domínio do dado não migrado). Realizando o empilhamento ou o espalhamento de amplitudes e com base no princípio de Huygens, a migração Kirchhoff produz valores considerados de amplitude onde o ponto em estudo está ou sobre o refletor (empilhamento) ou sobre uma reflexão (espalhamento) e valores de amplitude significativamente mais baixos para os demais pontos (Figura 6). Neste modo não há necessidade de um prévio conhecimento das reflexões, apenas deve se ter um campo de velocidade que represente razoavelmente a distribuição

espacial das velocidades na subsuperfície para o cálculo da curva de difração ou isócronas.

Considerando-se a teoria em que se baseia a migração Kirchhoff, tanto a migração por espalhamento quanto por empilhamento produzem o mesmo resultado.

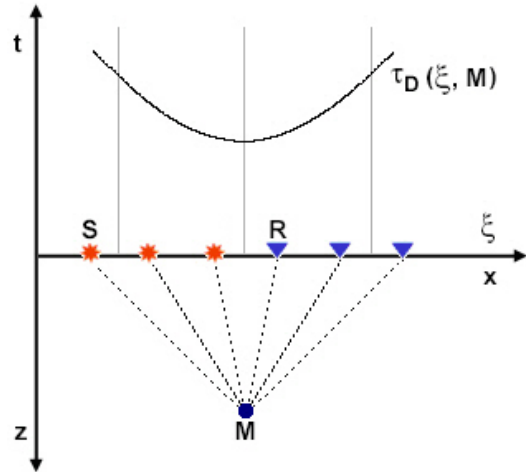


Figura 7 – Diagrama esquemático de construção da curva de tempos de trânsito de difração. Fonte: Adaptado de BIONDI (2006).

Assim, dado um ponto M , de coordenadas (x, z) , e uma determinada configuração dos dados sísmicos de entrada, descrita pelo parâmetro de configuração ξ , a migração de Kirchhoff pode ser expressa pela integral (SCHLEICHER, 1993):

$$V(M) = \int_{\Omega} W(\xi, M) D[U(\xi, t = \tau_D(\xi, M))] d\xi \quad (1)$$

onde $V(M)$ é a amplitude migrada para um ponto M da seção de saída; Ω , corresponde ao domínio de integração na superfície; $W(\xi, M)$, corresponde ao fator de ponderação e D , corresponde ao operador de correção de mudança de fase decorrente do processo de migração. Os traços da seção de entrada $U(\xi, t)$ equivalentes ao dado registrado no receptor, são descritos pelo parâmetro ξ .

A equação (1) expressa que para cada ponto M da seção de saída, a integral é avaliada nos valores de amplitude da seção de entrada, ao longo da trajetória de empilhamento dos eventos de difração $\tau_D(\xi, M)$ dentro da abertura de migração Ω (região de integração) e ponderada pela função peso $W(\xi, M)$, usada para retirar das amplitudes resultantes o efeito de espalhamento geométrico. Repetindo esta operação para todos os pontos da seção de saída, obtemos a seção migrada.

Resultados

A partir da aquisição dos dados sísmicos feita com o pacote CWP/SU foi obtido o empilhamento preliminar (*brute stack*), ou seja, não foi realizado nenhum tipo de tratamento nos dados sísmicos (ganhos e filtros), que podem ser observados na seção sísmica abaixo (Figura 8).

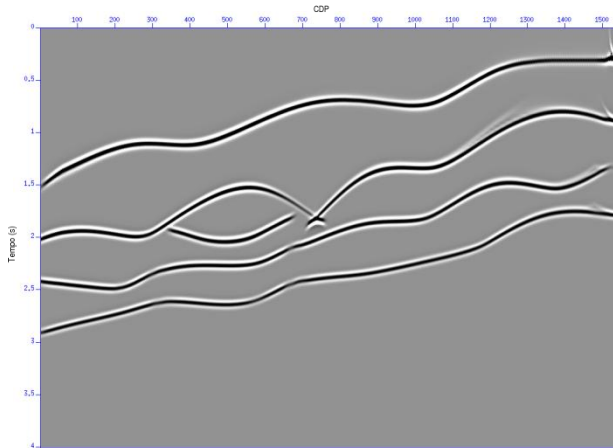


Figura 8 – Seção sísmica bruta.

Após aplicação da geometria de aquisição ao dado, da edição de traços, e da análise de velocidades, foi obtido o mapa de velocidades (*velan*) mostrado abaixo (Figura 9), onde fica possível observar a presença do domo salino na seção a partir do contraste de velocidades das camadas geológicas.

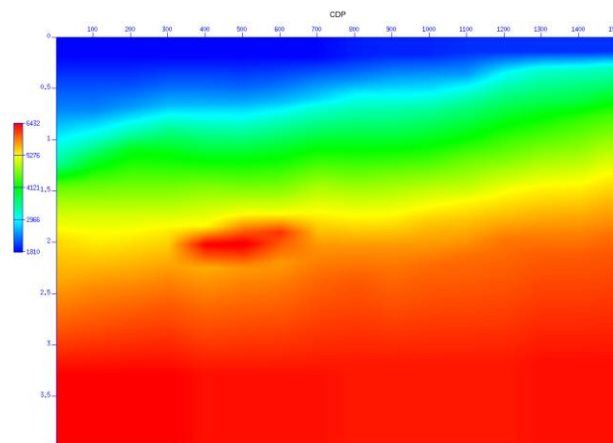


Figura 9 – Mapa de velocidades.

Utilizando a análise de velocidades com seus parâmetros obtidos foi feita a correção NMO, aplicação de ganho (AGC) e, em seguida foi feito o empilhamento dos dados, como pode ser observado na seção sísmica mostrada na Figura 10, ficando evidente o ajuste dos refletores nas suas localizações verdadeiras, mas por conta das

características geológicas do corpo salino ainda são observadas difrações nos contatos do sal com as camadas geológicas adjacentes.

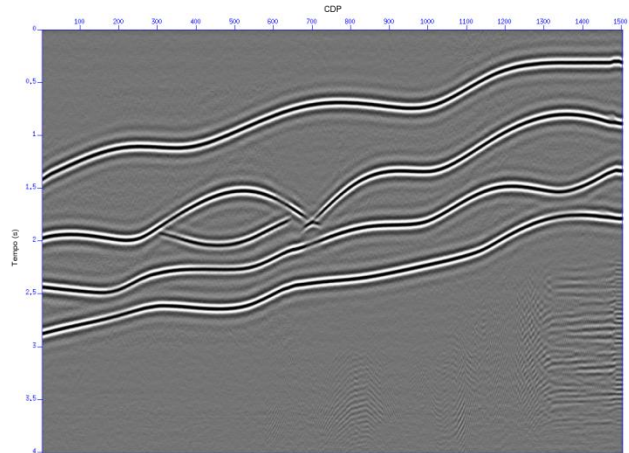


Figura 10 – Seção sísmica empilhada.

Após obtida a seção empilhada foi realizada a migração, no caso deste trabalho, foi aplicada a migração do tipo Kirchhoff, que é umas das técnicas de migração mais utilizadas na indústria do petróleo e por sua grande eficiência no reposicionamento adequado dos refletores, o que não foi possível somente com o empilhamento convencional. Também, foram retiradas ou suprimidas as difrações, que ainda estavam presentes na seção empilhada. Esse resultado é mostrado na seção sísmica abaixo (Figura 11).

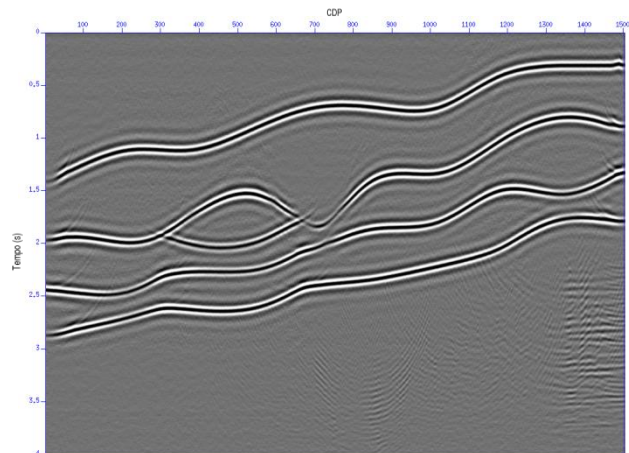


Figura 11 – Seção sísmica migrada pós-empilhamento em tempo.

Conclusões

Ao terminar a análise, fica evidente a eficácia do método utilizado. Com este tipo de processamento é possível, com bastante precisão, determinar os locais mais adequados para a perfuração e exploração de petróleo e hidrocarbonetos.

Em dados reais mais complexos, a metodologia apresentada também é válida, pois seriam utilizadas algumas outras técnicas que não fizeram parte desta análise, como o processo de deconvolução, recuperação de ganho, entre outras.

Com o uso do pacote Seismic Un*x foi possível compreender de maneira mais fácil o processamento como um todo, sendo possível entender a importância de cada um dos processos e os seus efeitos individuais na análise sísmica.

O trabalho realizado mostrou ser uma aplicação prática e de importância relevante para a indústria do petróleo, servindo de incentivo a estudos posteriores mais detalhados das técnicas de processamento de sinais envolvidas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Convênio UFPA/ANP/MCT/PRH-06, pelo apoio financeiro a qualidade de bolsa de estudo.

À Universidade Federal do Pará, pelos equipamentos e espaços cedidos.

Referências

BIONDI, B. L. **3-D Seismic imaging**. Tulsa: Society of Exploration Geophysics, 2006.

CLAERBOUT, J. F. **Imaging the earth's interior**. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1985. 398 p.

CLAERBOUT, J. F. **Basic Earth Imaging**. Stanford: Stanford Exploration Project. 1995. 230 p.

FOREL, D.; BENZ, T.; PENNINGTON, W. D. **Seismic Data Processing with Seismic Un*x**. [S.I.]: Society of Exploration Geophysicists, 2005.

HUBRAL, P.; KREY, T. **Interval Velocities from Seismic Reflection Time Measurements**. [S.I.]: Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists, 1980.

SCHNEIDER, W. A. **Integral formulation for migration in two and three dimensions**. **Geophysics**, v. 43, n. 1, p. 49-76. 1978.

SHERIFF, R.; GELDART, L. **Exploration seismology**. [S.I.]: Cambridge University Press, 1995.

YILMAZ, O. **Seismic data processing**. [S.I.]: Society of Exploration Geophysicists, 1987.