



Análise de migração Kirchhoff e Stolt em dados terrestres da Bacia do Parnaíba.

Alípio Farias Martins - FAGEOF/UFGA.

Jeferson Afonso Santos - FAGEOF/UFGA.

Rodolfo André Neves - FAGEOF/UFGA.

Jaime Andrés Collazos Gonzáles – CPGF/UFGA.

Prof. Dr. João Carlos Ribeiro Cruz – CPGF/UFGA.

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

By using 1000 shots of the 2D seismic line 0295-0001, provided by the National Petroleum Agency (ANP) project called 0295_ANP_2D_PARNAIBA (TEIXEIRA, 2010), we reprocess them and make the comparison between the applications of Kirchhoff and Stolt migration methods.

The processed seismic line has 10Km length with a split-spread arrangement corresponding to 420 CDPs. The used seismic source was dynamite with 963 shots and 12 geophones per group, with spacing of 2.08 m. The interval between groups of geophones was 25 m, with a minimum spacing of 25 m and a maximum of 5237m. The total recording time was 5 seconds, but previously studies conducted in the area, indicated the maximum time of geological interest is 3.0 s.

We used the PROMAX software for processing and applied the standard terrestrial data flowchart presented in this work, to obtain stacked and migrated time sections with the creation of a good velocity model.

Introdução

A Bacia Intra-cratônica do Parnaíba, localizada na região nordeste ocidental brasileira, possui espessura máxima de 3.500 metros, e abrange a área de aproximadamente 600.000 Km². Desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o estágio de estabilização da plataforma Sul-Americana (ALMEIDA e CARNEIRO, 2004). Sua forma é Elipsoidal, também dita “forma em prato”, com diâmetro longitudinal medindo aproximadamente 1000 km, e o diâmetro perpendicular a este com aproximadamente 800 km.

Esta Sinéclise é bordejada ao sul pelo Arco de São Francisco, a leste e Oeste por rochas da orogenia Brasileira. A borda noroeste da bacia é delimitada pelo arco de Tocantins, que separa esta bacia da Bacia do Amazonas. Ao norte existem duas bacias costeiras (Bacias de São Luiz e de Barreirinhas), que são separadas da Bacia do Parnaíba pelo Arco de Ferrer - Urbano Santos.

Os processos deposicionais que afetaram essa bacia foram principalmente de natureza termal. A origem ou subsidência inicial da Bacia do Parnaíba

provavelmente está ligada às deformações e eventos térmicos fini- e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro ou ao estágio de Transição da plataforma (ALMEIDA; CARNEIRO, 2004).

A Bacia do Parnaíba possui cinco Supersequências (Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea) cujas três primeiras estão situadas, no contexto da Plataforma Sul-Americana, no estágio de estabilização. Suas discordâncias são originadas devido às variações dos níveis eustáticos dos mares epicontinentais do Eopaleozóico (PETROBRAS, 2007). E as duas últimas estão associadas a eventos magmáticos de idades Jurotriássica a Eocretácia (GÓES; FEIJÓ, 1994) (Figura 1).

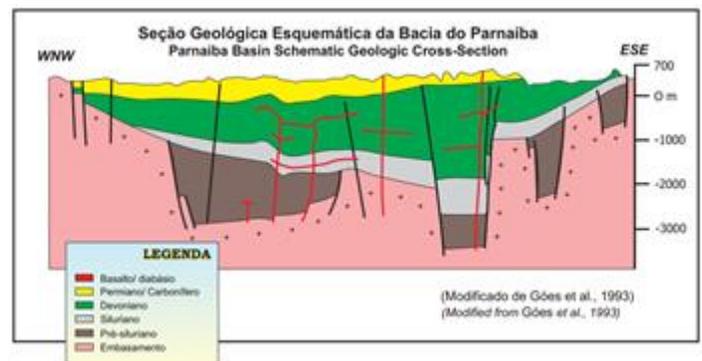
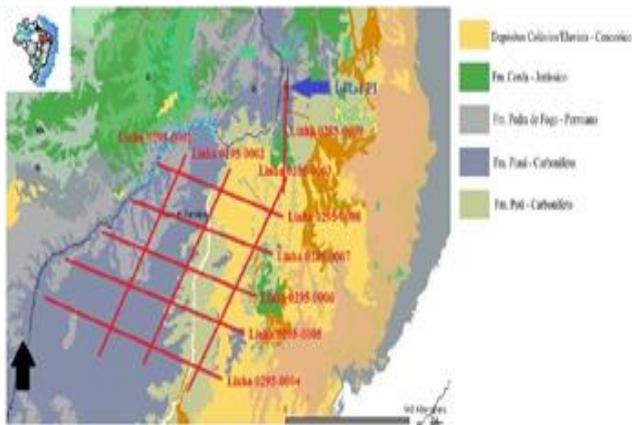


Figura 1 – Geologia do local (Modificação de Goés et al., 1993).

Objetivos e Localização da Linha

Este trabalho tem por finalidade discutir a aplicação das metodologias de migração Kirchhoff e Stolt, e de correções estáticas de elevação e refração, abordando a sua robustez, tempo de processamento e aplicabilidade no reprocessamento de dados sísmicos da Bacia do Parnaíba.

Os dados utilizados para o reprocessamento foram o conjunto dos 1000 tiros finais da Linha Sísmica 2D 0295-0001, pertencente ao projeto da Agência Nacional do Petróleo (ANP) denominado de 0295_ANP_2D_PARNAIBA (TEIXEIRA, 2010). A linha 0001 foi escolhida dentre o grupo das 9 do Projeto denominadas Linhas 0295-0001, 0295-0002, 0295-0004, 0295-0005, 0295-0006, 0295-0003, 0295-0007, 0295-0008 e 0295-0009 (Figura 2). A Linha 0295-0009 foi planejada para passar sobre o poço 1-FL-1-PI.



Fonte: Modificado de ANP (2013).

Figura 2 – Linhas de levantamentos de dados sísmicos (ANP, 2013.).

O Software de processamento PROMAX foi utilizado, seguindo o fluxo de processamento apresentado no item Metodologia deste trabalho, com o intuito de obterem-se seções empilhadas (zero offset) e migradas no tempo, a partir das metodologias de Migração Kirchhoff e Stolt. O principal aspecto pretendido é o melhoramento da continuidade dos refletores, nas seções, a partir das correções estáticas de Elevação e de Refração, que possibilitam um melhor modelo de velocidades.

A linha de dados sísmicos que foi trabalhada tem dimensão de 10Km, em arranjo split-spread, com 420 CDPs. O tipo de fonte usada foi dinamite, com 963 tiros. Foram usados 12 geofones por grupo, com o espaçamento de 2.08 m. O intervalo entre grupos de geofones foi de 25 m, com o mínimo afastamento de 25 m e o máximo de 5237m. O tempo total de registro foi de 5 segundos, porém observou-se em trabalhos realizados anteriormente na área, que o tempo máximo de interesse geológico é de 3 s.

Metodologia

Pré-Processamento

Os 1000 tiros selecionados da Linha sísmica 0001, fornecidos em formato SEG-Y pela ANP, foram convertidos para o formato Seispace, para realização do carregamento da geometria, informando-se as coordenadas das fontes e dos grupos de geofones (Receptores) (Figura 3).

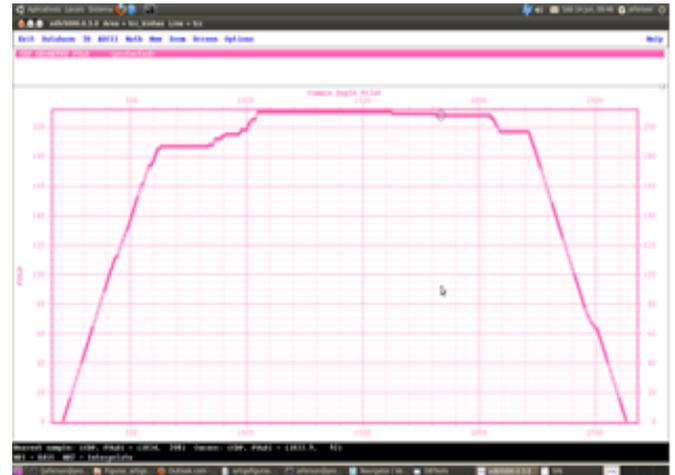


Figura 3 - Gráfico CDP x FOLD (cobertura) para os tiros selecionados. O máximo de cobertura é 210.

O pré-processamento dos dados já com a geometria carregada foi realizado pelas seguintes etapas: 1) Eliminação dos traços mortos (de amplitude zero) e eliminação das primeiras chegadas (refração): Usando o módulo "Top Mute" faz-se a demarcação de horizontes (picking) que é extrapolado até o tempo de início do levantamento. Toda essa área demarcada tem sua amplitude eliminada (multiplicada por zero). O módulo "Kill Trace" elimina traços muito ruidosos e de amplitude zero selecionados pelo usuário. 2) Correções de divergência esférica e atenuação: Através do módulo "True Amplitude Recovery", faz-se correções para a divergência esférica e atenuação inserindo-se uma função de velocidades $V(t)$, semelhante a utilizada no "Brute Stack", ou uma tabela de velocidades. A Figura 5 demonstra o dado sem a utilização do TAR, assim como a Figura 6 demonstra o mesmo dado após a aplicação do TAR. 3) Aplicação da deconvolução, "spike decon": A Deconvolução (Decon Predictive), baseada na compressão da "wavelet" sísmica, melhora a resolução vertical no dado sísmico. Foi utilizada a deconvolução de fase mínima, sendo o comprimento do operador de deconvolução 320 e a distância do operador de previsão 25. 4) Filtragem banda passante: O principal módulo de filtragem utilizada foi o filtro de banda passante Ormsby, de fase mínima, onde o usuário pode especificar as frequências utilizadas no processo de filtragem. As frequências utilizadas neste foram 6-12-60-90 Hz; com o intuito de atenuar o "ground roll" com frequências abaixo de 6 Hz e ruídos de alta frequências acima de 90 Hz. 5) Acréscimo de ganho (AGC): O AGC (automatic Gain Control) é utilizado para ressaltar a amplitude dos eventos do dado (Figura 4).

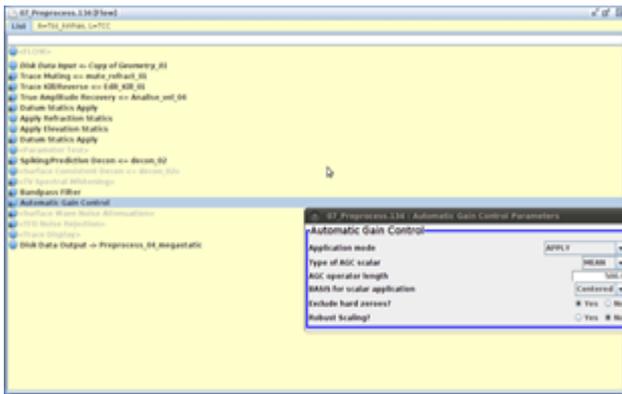


Figura 4 – Parâmetros do AGC aplicado (Automatic Gain Control).

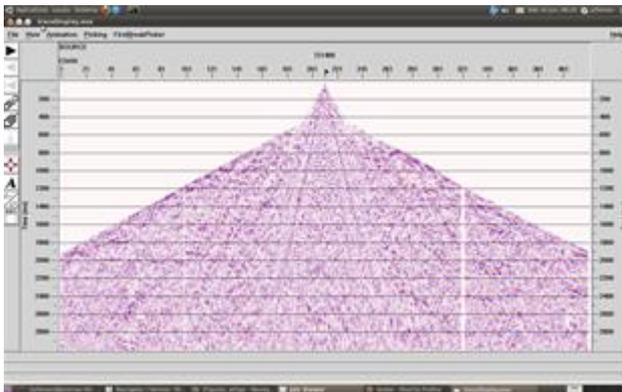


Figura 5 - Dado sem a utilização do TAR (True Amplitude Recovery).

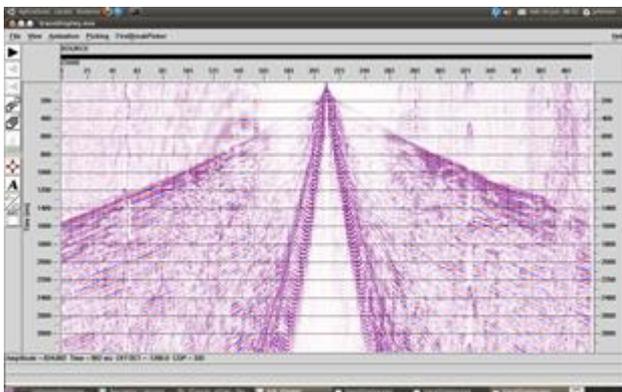


Figura 6 – O dado após a aplicação do TAR.

Processamento

O processamento da linha 2D 0295-0001 foi realizado através da aplicação das seguintes etapas:

1) Brute Stack:

O Brute Stack, ou empilhamento preliminar, segue o mesmo algoritmo utilizado no empilhamento convencional: Os eventos de reflexão, em famílias CMP, são corrigidos de NMO e depois superpostos. Porém este se dá sem a utilização de um modelo de velocidades prévio (ou seja, não precisa de Análise de Velocidades para ser construído).

No Brute Stack, o usuário insere uma função de Velocidades $V(t)$, onde t representa o Tempo que o programa irá utilizar como base para o empilhamento.

Ele fornece uma primeira visão do dado processado. Se os refletores têm mergulho, ou se são mais tabulares. É uma ferramenta interessante, pois fornece uma prévia do comportamento dos refletores.

2) Correções Estáticas

Para a aplicação da correção estática, é necessário o conhecimento de vários parâmetros, tais como: elevação do terreno, profundidade de carga utilizada no levantamento sísmico e velocidade e espessura da camada de intemperismo. Deve-se considerar que a mesma pode melhorar o resultado da seção sísmica processada, caso haja uma moderada variação lateral de velocidade da camada de baixa velocidade. No entanto, quando essa variação lateral aumenta de forma significativa, a aplicação não eficaz do processo pode causar distorções das estruturas mapeadas em subsuperfície (AMORIM, 1985).

As Correções Estáticas utilizadas foram de Elevação e de Refração:

A Correção estática de Elevação (Figura 7) corrige a partir da informação da topografia, os desvios no tempo de transito ocasionados pela diferença de elevação entre os receptores. Ou seja, fisicamente, transforma a seção original, com receptores em diferentes posições em z , para uma seção como se os receptores e fontes estivessem no mesmo nível topográfico (Datum).

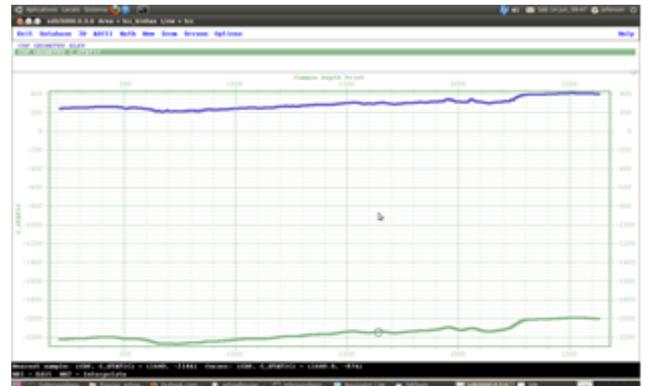


Figura 7 - Correção estática de Elevação.

A Correção Estática de Refração (figura 8) corrige as diferenças nos tempos de transito ocasionadas pelas camadas sedimentares rasas, denominadas camada ou zona de baixa velocidade (ZBV). O parâmetro de entrada necessário é o FB Pick (marcação das primeiras chegadas) e o tempo de uphole (que pode ser inserido a partir da tabela de Geometria, ou pode ser calculado pelo programa).

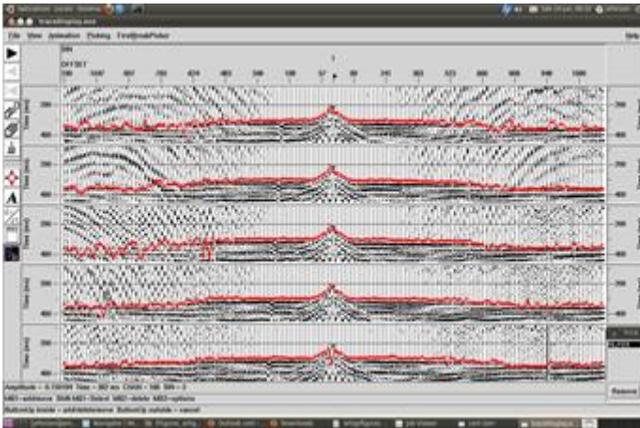


Figura 8- Correção Estática de Refração.

3) Análise de Velocidades

A análise de velocidades (Figura 9) utiliza como entrada um dado pré processado. A partir desse dado, é formado um supergather (conjunto de CDP's máximo e mínimo – Common Deep Point) para realizar um pré dado computacional de velocidade (velocity Precompute). Os "supergathers" são utilizados para a construção da análise de velocidade preliminar (o cdp Increment informa o incremento, o cdps to combine informa o número de cdps utilizados como conjunto em cada supergather.).

A tabela de velocidades é preparada como entrada na análise de velocidades, calculando-se o semblance (medida de coerência), e criando funções de velocidade de empilhamento (VFS) para um cdp predefinido.

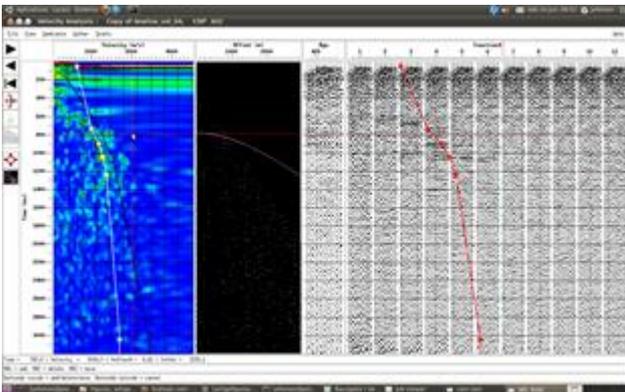


Figura 9 - análise de velocidades.

4) Empilhamento

O fluxo de empilhamento realiza a correção NMO e empilha os traços em CMP, utilizando como parâmetro um modelo de Velocidades construído na Análise de Velocidades.

Na etapa do empilhamento é realizada a soma aritmética das amplitudes dos traços das famílias CMP, após a correção NMO. O resultado é uma aproximação da seção de afastamento nulo onde as reflexões são supostas abaixo da posição do CMP. A melhoria da razão sinal-ruído dos dados, nesse caso,

dependerá do grau de coerência alcançada nos eventos de interesse (reflexões).

Esta situação em princípio é atingida em interfaces horizontais e modelos sem variação lateral de velocidade. Vale lembrar que, para uma interface com fortes mergulhos, as reflexões não provêm de pontos de reflexão exatamente abaixo do CMP.

O empilhamento CMP também pode minimizar a anuência de chegadas contaminantes, tais como ondas diretas ou ondas superficiais. Em consequência, esses eventos não são somados coerentemente no processo de empilhamento.

5) Migração: Métodos Kirchhoff e Stolt

A migração é um operador de inversão que envolve o rearranjo dos elementos de informação sísmica, então as reflexões e difrações são plotadas nos seus locais verdadeiros. Neste trabalho foram aplicados e comparados os métodos de migração Kirchhoff e Stolt, ambos no domínio do tempo, apresentados a seguir:

Migração Kirchhoff: A migração Kirchhoff utiliza mapas de tempo de trânsito, que estão relacionados a cada superfície (refletores) em sub-superfície. Esse método utiliza a velocidade RMS, $V_{rms}(x, t)$ (root mean square; raiz da média dos quadrados), e atua no domínio tempo. Provém uma boa seção migrada para refletores com mergulho superior a 90° .

Migração Stolt: É muito boa para ambientes de velocidades horizontais constantes. Mas particularmente ineficiente para ambientes com grande variação de velocidades principalmente lateral. O algoritmo utiliza um método análogo ao "Stolt Stretching", técnica para o cálculo da variação vertical e espacial de velocidade.

Resultados

A partir do Pré-processamento, uma saída foi gerada em disco. Esse dado pré-processado foi submetido ao "Brute Stack" (empilhamento preliminar). A figura abaixo representa o resultado do "Brute Stack" (Figura 10).

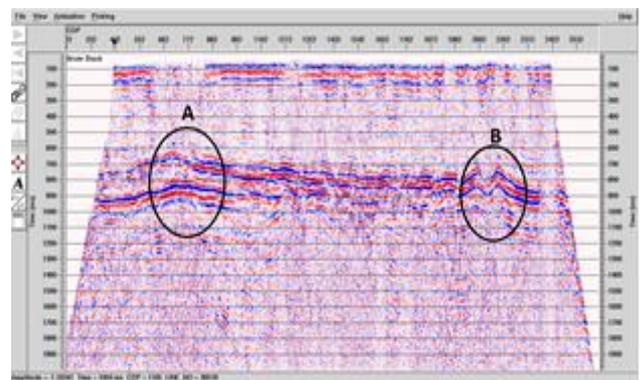


Figura 10 - Resultado do "Brute Stack" (empilhamento bruto).

A seção Brute Stack apresenta refletores ligeiramente planos e com pequeno mergulho para a direita. Percebe-se também duas áreas com regiões dobradas identificadas como A e B. Esse conjunto de refletores

aparecem na porção intermediária da seção entre 600-750 s.

Com o intuito de melhorar a continuidade, e retirar os efeitos da topografia e da Zona de Baixa Velocidade (ZBV) foram realizadas as Correções Estáticas de Elevação e de Refração (Figura 11).

Percebe-se como a continuidade dos refletores melhora; estes estão mais planos, e as regiões anteriormente dobradas A e B, tornaram-se mais contínuas. Isso pode ser observado na figura abaixo:

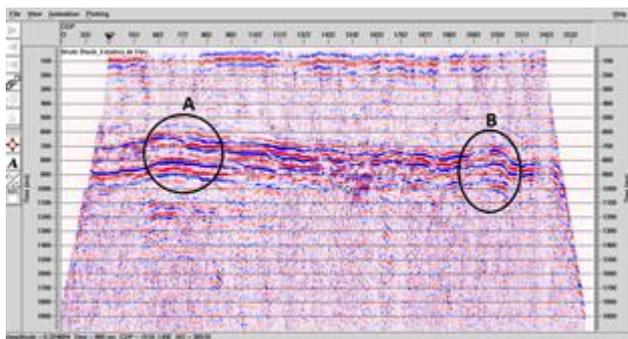


Figura 11 - Brute Stack com estáticas.

A partir de então, realizou-se a Análise de Velocidades; para que a seção empilhada fosse melhorada. A Análise de Velocidades serve para encontrar o melhor modelo de Velocidades $V(x, t)$ possível que produza a soma coerente dos eventos de reflexão.

Como observado no "Brute Stack", a velocidade não deve variar muito lateralmente, então o modelo de velocidades mais coerente, deve variar verticalmente de maneira suave e apresentar continuidade horizontal.

Dentre os Modelos de Velocidades obtidos, o melhor Modelo de Velocidades produzido apresenta-se na Figura 12.

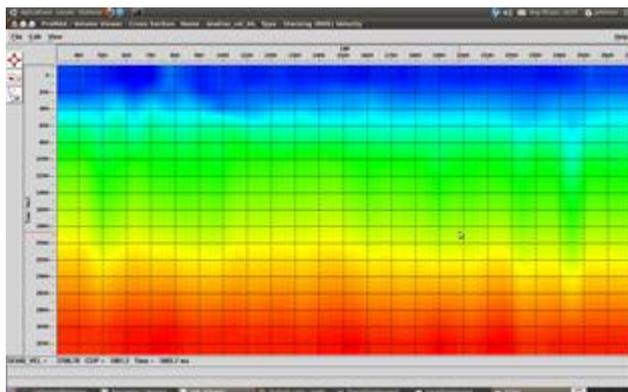


Figura 12 - Modelo de Velocidades produzido.

O critério de escolha do Modelo de Velocidades acima, foi o fato de que este produz a seção empilhada mais coerente (refletores contínuos) e semelhante a seção Brute Stack eventos de reflexão plano-tabulares. Abaixo na figura 13 segue a Seção Stack (Empilhada ou Zero-offset) produzida:

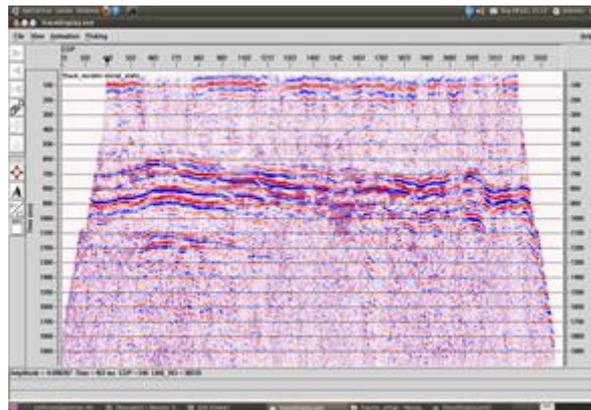


Figura 13 - Seção Stack (empilhada).

A etapa seguinte foi produzir-se as seções migradas. Com o objetivo de colapsarem-se as difrações e melhorar ainda mais a continuidade dos refletores. O primeiro método de Migração foi o Kirchoff, que produz a seção Migrada a partir da integral de Kirchoff. A seção resultante é apresentada na figura 14.

Seção Migrada Kirchoff

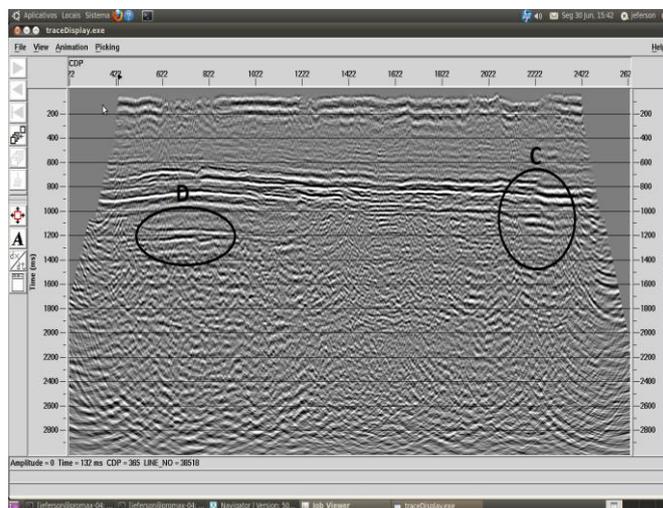


Figura 14 - Migração Kirchoff.

Percebe-se que o processo de Migração Kirchoff não produz uma seção tão diferente da empilhada. A região "C" destacada parece algum tipo de dobramento.

Seção Migrada Stolt.

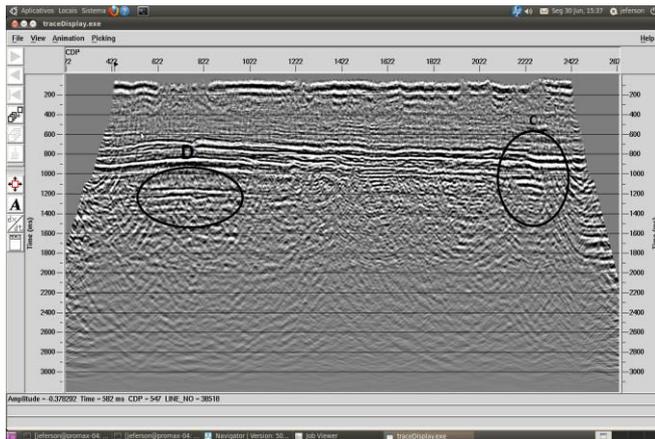


Figura 15 - A Migração Stolt.

Na região “C” o que parece ser um dobramento na migração Kirchoff, aparece como uma fratura na migração Stolt (figura 15).

Conclusões e Recomendações

As correções estáticas de Elevação e de Refração representam ferramentas indispensáveis para o processamento de dados sísmicos terrestres. Pois a Falta dessas correções pode conduzir a erros de interpretação, a exemplo das seções Brute Stack aqui apresentadas. Verificou-se que as dobras e descontinuidades nas regiões identificadas como A e B, na realidade, eram devidas aos desvios no tempo de trânsito, provocados pelos efeitos da ZBV e Topografia, anteriores as correções estáticas.

Foi também ressaltado, que para o ambiente em questão, a Migração Stolt produziu resultado mais satisfatório em relação a acomodação geológica das camadas, se comparada a Migração Kirchoff. Isso se deu, pois a Migração Stolt se enquadrou melhor ao ambiente com deposições plano-tabulares e pouca ou nenhuma variação lateral de Velocidade.

Além disso, a Migração Stolt é melhor no quesito tempo de processamento. Essa Migração durou em média 3 minutos, enquanto que a Migração Kirchoff durou entre 5 a 10 minutos. Visto que o dado processado possui apenas 1000 tiros da Linha Original [Quantos no total?] a diferença no tempo de cômputo seria muito maior se a Linha toda fosse processada, e maior ainda, se as nove Linhas do levantamento fossem utilizadas.

No entanto, em termos de relação sinal/ruído, Kirchoff gera um modelo mais suave (vide figura 14), o que pode ser observado para esta comprovação é o destaque do ruído (círculo D) em ambas migrações, o contraste é mais intenso em Stolt, praticamente “poluindo” a imagem. Visto que o dado processado possui apenas 1000 tiros da Linha Original [Quantos no total?] a diferença no tempo de cômputo seria muito maior se a Linha toda fosse processada, e maior ainda, se as nove Linhas do levantamento fossem utilizadas.

Então, por fim, ambas migrações mostram-se importantes de serem observadas, cada uma com suas limitações, comprovando que o bom processamento atua na quantidade de métodos a serem utilizados. Vale ressaltar o peso das informações referentes à geologia do local analisado, tais como deposição, ângulos das camadas, etc. Pois são dados a serem considerados durante a aplicação das ferramentas de processamento.

Agradecimentos

ANP, Universidade Federal do Pará, Faculdade de geofísica, Centro de Pós-Graduação em geofísica, Instituto de Geociências e SBGF.

Referências

AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO (ANP). Bancos de dados. Disponível em: <<http://www.bdep.gov.br/>>

Almeida, F. F. M. de, 1969. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira (Tectonic differentiation of the Brazilian Platform). Proceedings 33rd. Brazilian Geological Congress, Salvador (BA), Brazil, vol. 1: 29-46.

B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007.

GÓES, A. M. O.; SOUZA, J. M. P.; TEIXEIRA, L. B. Estágio explorativo perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v.4, n. 1, p. 55-64. 1990. GÓES, A. M. O.; FEIJÓ J. F. Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p.57-67. 1994.

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F. 1994. Bacia do Parnaíba. Bol. Geoc. Petrobrás. Rio de Janeiro.

PROMAX Reference Manual Contents.

TEIXEIRA, F. S. Análise estrutural e estratigráfica de feições geológicas através da interpretação de seções sísmicas e de mapas gravimétricos, na porção Leste da Bacia do Parnaíba, PI. 2010. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.