

Migração pós-empilhamento em tempo de dados de talude da Bacia de Camamu

Luiz A. Filho, Gary C. Aldunate, Reynam C. Pestana - CPGG/UFBA, Brasil

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do II SR-SBGf 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.

Resumo

Regiões onde ocorrem a quebra da plataforma continental e inicia-se o talude em bacias marítimas, provocam distorções na imagem sísmica tornando arriscada a avaliação de prospectos localizados em tais zonas geológicas. O imageamento sísmico, que corrige as distorções e difrações, é a ferramenta mais importante no processo de conhecimento da geologia estrutural e na interpretação sísmica, especialmente em zonas de talude. Neste trabalho processamos uma linha sísmica de talude da Bacia de Camamu, dado marítimo 2-D, adquirido pela Petrobras (linha 247-RL-5519), obtendo seções migradas em tempo e seções de atributo sísmico, os quais contribuíram muito no delineamento e melhor conhecimento das estruturas geológicas de subsuperfície.

Introdução

O grande desafio em zonas de talude é conseguir uma melhor identificação das estruturas, possivelmente portadoras de hidrocarbonetos, em regiões onde ocorrem a quebra de plataforma continental e inicia-se o talude em bacias marítimas, pois situações geológicas deste tipo provocam ambigüidades e distorções na imagem sísmica. Em situações geológicas de quebra de plataforma, a grande diferença entre a velocidade de propagação de ondas sísmicas na lâmina d'água e nas rochas da plataforma provoca forte variação lateral de velocidade, prejudicando o imageamento sísmico. Em tais zonas de mudanças bruscas ao longo das interfaces geológicas, zona de quebra de talude, que contem falhas, domos, etc., uma parte da energia se transforma em difrações. Conseqüentemente, o registro dos eventos que constituem uma seção sísmica representa uma imagem distorcida dos refletores em subsuperfície, isto é, uma imagem que foi submetida a um complicado processo de focalização, desfocalização, interferência e difração.

A migração sísmica é o processo que depropaga a energia registrada na subperfície com o objetivo de corrigir as distorções introduzida pela propagação da onda no meio e gerar imagens que retrate a verdadeira geometria dos refletores em subsuperfície (Aldunate, 2002). Adicionalmente, a migração aumenta a resolução espacial e colapsa as difrações, reduzindo o efeito do espalhamento da energia sísmica.

Dois métodos de migração pós-empilhamento em tempo foram aplicados aos dados empilhados, com o intuito de reconstituir as estruturas da área geológica de talude, esses métodos clássicos são: Migração Phase-Shift (Gazdag, 1978; Claerbout, 1978; Yilmaz, 2000), Migração TK (SU-39, 2006). Também são apresentadas duas seções sísmicas de atributos sísmicos instantâneos (SU-39, 2006), mostrando que é possível ainda delinear com mais exatidão as feições geológicas importantes.

Dado real de talude da Bacia de Camamu

O dado real processado no presente trabalho é proveniente de uma zona de talude da Bacia de Camamu, uma linha sísmica de reflexão 2-D (linha 247-RL-5519), que localiza-se no litoral do Estado da Bahia, abrangendo a planície costeira, plataforma, talude e sopé continental. A região da plataforma da bacia de Camamu é vasta e ampla com cerca de 125 km de extensão na direção N-S e 70 km de largura na direção E-W. Sua área total, até a cota batimétrica de 2000 m, é cerca de 9000 km², sendo 2000 km² em terra e 7000 km² no mar. A bacia limita-se ao sul com a bacia de Almada, pelo Alto de Itacaré, e ao norte com as bacias de Jacuípe e do Recôncavo, pelas zonas de transferência de Itapoã e da Barra, esta última com características de falha de transferência, com a direção E-W (Netto et al. 1994).

A bacia apresenta grande espessura sedimentar, que pode atingir 8000 metros nos depocentros, podendo ser individualizadas quatro megasequências correspondentes às fases pré-rifte, sinrifte, transicional e pós-rifte. A fase pré-rifte caracteriza-se por pequeno estiramento litosférico, gerando uma ampla sinéclise na qual se registram sedimentos marinhos da Formação Afligitos (Permiano), com uma seção basal areno-evaporítica e uma seção superior pelítica e sedimentos siliciclásticos das formações Aliança, Sergi e Itaípe (Jurássico Superior e Cretáceo Inferior). As formações Aliança e Sergi são compostas basicamente por arenitos fluviais, e a formação Itaípe (Cretáceo Inferior) por folhelhos lacustres. A megasequência sinrifte caracteriza-se por intensos falhamentos normais e formação de um lago profundo, confinado e preenchido por uma espessa seqüência alúvio-flúvio-deltaica-lacustre, composta basicamente de folhelhos e arenitos do Cretáceo Inferior, associados às formações Morro do Barro e Rio de Contas. As primeiras incursões marinhas na bacia, no Aptiano, resultaram numa mega seqüência transicional em golfos restritos onde se depositaram os evaporitos, carbonatos e siliciclásticos da Formação Taipus Mirim, que engloba o Membro Serinhaém (siliciclásticos) e o Membro Igrapiúma (evaporitos). A linha sísmica 2-D 247-RL-5519 apenas representa um corte transversal à quebra de plataforma da bacia de Camamu, mas contém valiosa informação desta zona de transição.

Imageamento em tempo pós-empilhamento

Os dados de entrada para efetuar as migrações pós-empilhamento em tempo são os dados empilhados após a correção de NMO - Normal Move Out, também chamadas de seções aproximadas ao zero offset ou de afastamento nulo. Já as velocidades de entrada, necessárias para o processo de migração, foram calculadas através da análise de velocidades (NMO) e gerando-se através de um processo de interpolação um campo final de velocidades para a migração.

A migração Phase-Shift, pioneiramente desenvolvido por Gazdag (1978), constitui-se num procedimento padrão da migração pós-empilhamento, onde a velocidade é uma função somente da profundidade. Neste método o campo de onda em profundidade é extrapolado através do deslocamento de fase no domínio freqüência - número de onda. Com este método consegue-se imagear todos os ângulos de mergulho acima de 90 graus.

O método Phase-Shift procede pela extrapolação direta para baixo, efetuada pelo operador de deslocamento de fase $e^{ik_z z}$, e subseqüentemente avaliando-se o campo de onda em $t = 0$, (condição de imagem do refletor explosivo). Este método incorpora facilmente a variação em profundidade da velocidade. Para uma demonstração básica do operador de extrapolação, iniciamos com a equação acústica da onda 2-D para um meio com velocidade constante escrita no domínio do número de onda - freqüência ($k_x - \omega$):

$$k_x^2 P - \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\omega^2}{v^2} P, \quad (1)$$

onde P é o campo de pressão, z é a profundidade, ω é a freqüência, v a velocidade e k_x o número de onda lateral na direção x . Utilizando a transformada espacial de Fourier na direção z obtemos a relação de dispersão,

$$k_x^2 + k_z^2 = \frac{\omega^2}{v^2}, \quad (2)$$

ou

$$k_z = \pm \sqrt{\frac{\omega^2}{v^2} - k_x^2}, \quad (3)$$

que por sua vez é também solução da seguinte equação diferencial linear de primeira ordem:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \pm k_z P. \quad (4)$$

O sinal (+) corresponde ao campo de onda ascendente e o sinal (-) ao campo de onda descendente, respectivamente. A solução analítica desta equação unidirecional equivale à:

$$P(z + \Delta z, k_x, \omega) = P(z, k_x, \omega) e^{\pm i k_z \Delta z}. \quad (5)$$

Assim, a extrapolação do campo de ondas envolve simplesmente um deslocamento de fase no domínio da freqüência - número de onda.

Para a obtenção da imagem migrada é necessário a aplicação da condição de imagem. Para a migração pós-empilhamento avalia-se o campo de onda em $t = 0$, que é exatamente o somatório de todos os componentes de freqüência. Assim, a imagem final é obtida pela transformada inversa de Fourier do campo de onda do domínio do número de onda para o domínio do espaço.

A migração Phase-Shift pós-empilhamento em tempo que usamos neste trabalho, programa "sumigps", pertence ao pacote de processamento sísmico Seismic Unix, versão 39 (SU-39, 2006). Neste programa o intervalo de amostragem em tempo $\Delta\tau$ da seção a ser migrada é escolhido igual à razão de amostragem no tempo do dado de entrada. Desta forma o operador de extrapolação para baixo em tempo é expresso como:

$$P(\tau + \Delta\tau, k_x, \omega) = P(\tau, k_x, \omega) e^{-i\omega\Delta\tau\sqrt{1 - (\frac{v(\tau)k_x}{\omega})^2}}. \quad (6)$$

O dado de entrada no processo de migração será multiplicado muitas vezes por esse deslocamento de fase a cada intervalo de tempo $\Delta\tau$, e a cada passo em tempo (posto que $\Delta z = v(\tau)\Delta\tau$) uma transformada de Fourier inversa é seguida e avaliada no tempo $t = 0$. Esta computação é simples, posto que o valor em $t = 0$ é meramente a adição de todos os componentes da freqüência ω . Finalmente efetua-se uma transformada de Fourier espacial inversa de k_x para x . A velocidade de processamento de migração é otimizada computando-se os tempos e amplitudes com "turning rays". O algoritmo de migração pode ser sumarizado como segue:

- Transforma-se o dado do domínio tempo-espaço ($t - x$) para o domínio tempo-número de onda ($t - k$).
- Nesse domínio se efetua a migração Phase-shift para cada número de onda.
- Dentro da operação de traçamento de raios muda-se do domínio do tempo t para o domínio da freqüência ω .
- Soma-se todas as freqüências.
- Volta-se ao domínio original via transformada de Fourier inversa 1-D de $t - k$ para $t - x$.

A migração TK (tempo - número de onda) contida no pacote SU (SU-39, 2006), programa "sumigt", não possui referências sobre este método de migração pós-empilhamento em tempo. Entretanto, verificando o código fonte podemos descrevê-lo através do seguinte algoritmo:

- Transforma-se o dado do domínio tempo-espaço ($t - x$) para o domínio tempo - número de onda ($t - k$).
- Neste domínio efetua-se uma extrapolação em tempo para cada número de onda, através da solução explícita da equação de onda por diferenças finitas.
- Volta-se ao domínio original via transformada de Fourier inversa 1-D de $t - k$ para $t - x$.

A simplicidade deste algoritmo nos leva a compará-lo com a migração ($\omega - x$), podendo-se pensar que é um análogo deste método. Um dos benefícios deste método é que elimina os efeitos de borda, presentes na migração Phase-Shift, embora as diferenças reais visíveis mostradas nos resultados sejam mínimas. Ambos métodos de migração pós-empilhamento em tempo usados são bastante rápidos.

Processamento sísmico

Para o processamento sísmico selecionamos um trecho de interesse da linha 247-RL-5519, justo na zona de talude, a partir do CDP 4700 até o CDP 13800, sendo o intervalo de CDPs de 6,5m, totalizando 1401 CDPs. A cobertura máxima é de 60 traços. Esta zona ainda se caracteriza por

ter um forte mergulho de talude como se pode ver na Figura 1, que mostra a seção empilhada. O dado tem 4,5s de registro, com um intervalo de amostragem de 4ms, com um total de 1126 amostras registradas.

Para a análise de velocidades foram utilizados 70 CDPs, isto devido ao fato que em zonas íngremes a interpolação de CDPs muito afastados cria maiores imprecisões. Desta forma, para zonas de talude o ideal é realizar a análise de velocidades com o maior número de CDPs possíveis, ou seja, quanto mais CDPs analisados maior a qualidade do empilhamento e, portanto, uma maior qualidade das seções obtidas no processo de migração.

Na Figura 1 observa-se que toda a seção é uma zona de transição, onde os refletores são em sua maioria descontínuos e estraçalhados, devido aos movimentos caóticos na direção do talude. Isto faz com que os semblances apresentem uma baixa qualidade e de difícil seleção dos eventos (seleção de velocidades em função do tempo via "picks"). Neste caso, tomou-se como referência para o processo de análise de velocidade de NMO o refletor que delinea o talude.

A Figura 2 mostra o resultado da migração pós-empilhamento em tempo Phase-Shift usando-se o campo de velocidade intervalar em tempo calculada a partir da análise dos 70 CDPs. Nesta seção observa-se claramente como a migração colapsa as difrações em todas as regiões, e especialmente isso se pode notar nos refletores logo abaixo do refletor que delinea o talude. Também no tempo desde 1,2s (da direita para à esquerda) identifica-se a forte presença da multipla principal do talude. Já as estruturas do lado esquerdo em geral são estruturas provenientes do fundo oceânico, no lado direito todas as estruturas apresentam-se caóticas com poucos refletores contínuos, característicos de zonas de transição.

A Figura 3 mostra o resultado da migração pós-empilhamento em tempo TK, sendo as diferenças com o resultado obtido pelo método Phase-Shift mínimas. Descartando-se a vantagem que neste método, em comparação com o resultado da migração Phase-Shift (Figura 2), onde os efeitos de borda foram minimizados.

A partir do resultado da migração TK é possível fazer um delineamento do perfil geológico estrutural dos principais refletores. A zona A (marcada) apresenta estruturas de deformacionais de deslizamento (denominadas de "creep") ocasionadas provavelmente devido à reativação da falha principal sinalizada por F1. A zona B, situada logo acima da zona A, também é caracterizada por deformações com microfalhas que também estão relacionadas ao deslizamento. Os refletores R1 e R2 se apresentam bem definidos e são oriundos da zona de talude, sendo que o refletor R1 pode ser definido como o refletor que marca a parte superior do talude e o refletor R2 descontínuo, mostra uma falha que caracteriza a movimentação dos blocos inferiores A e B. Por outro lado, a zona C mostra refletores sub-horizontais que sofreram pouca deformação (com falhamentos secundários) devido ao deslizamento na zona superior do talude. As delineações L1 e L2, aqui interpretadas, apresentam forma lenticular, que na sua porção interna da estrutura apresenta refletores caóticos, devido a sua morfologia anticlinal, especialmente a forma da parte superior da feição L2, que pode ter sido ocasionado pela pressão em direção ao talude. Estes dois eventos são mais facilmente identificados se recorreremos à seção de atributo sísmico da primeira derivada em tempo da amplitude instantânea. Este atributo usualmente é usado para detectar interfaces e discontinuidades (Figura 5). A seção

de atributo de amplitude instantânea, computado via transformada de Hilbert, apresenta como saída o envelope do dado, que é mostrado na Figura 6. Nesta figura nota-se a presença da gigante estrutura em forma de lente (L2). Portanto, todas as estruturas mencionadas, foram melhores interpretadas recorrendo-se aos atributos sísmicos instantâneos de amplitude.

Conclusões

O imageamento em zonas de quebra de plataforma, taludes, correspondente a bacias marítimas mostra-se desafiador, contudo neste trabalho conseguimos reconstituir seções em tempo mais nítidas do dado real de talude da Bacia de Camamu, graças ao processo de migração sísmica. Dois métodos de migração pós-empilhamento em tempo foram usados, a migração Phase-Shift e a migração TK, demonstrando que o processo de migração sísmica colapsa a energia sísmica espalhada, melhorando sensivelmente o processo de interpretação dos dados. Fazendo-se uso dos atributos sísmicos de amplitude instantânea e primeira derivada em tempo da amplitude instantânea, conseguimos melhorar a imagem e resultando numa melhor identificação dos refletores e dos eventos importantes presentes no talude. Entretanto, não possuímos informações sobre o correto posicionamento dos eventos em profundidade, o que nos levaria ao uso de técnicas de migração pré-empilhamento em profundidade. Com isto seria possível fazer uma interpretação mais adequada sobre o posicionamento das estruturas em subsuperfície, bem como a correta delimitação dos refletores.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CTPETRO/CNPq-FINEP pelo apoio à rede Cooperativa de Pesquisa em Risco Exploratório, a PETROBRAS, a FAPESB, a CAPES e ao CPGG/UFBA pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Aldunate, G. C. (2002) Migração Pré-empilhamento Usando Operadores de Extrapolação tipo "Split-Step", Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia.
- Claerbout, J. F. (1985) Imaging the Earth's Interior, Blackwell Scientific, Electronic Book.
- Gazdag, J. (1978) Wave equation migration with the phase shift method, Geophysics, 43:1342-1351.
- Netto, A. S. T.; Filho, J. R.; Feijó, F. J. (1994) Bacias de Jacuípe, Camamu e Almada. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.173-184.
- SU-39 (2006) Pacote livre de Processamento Sísmico, Colorado School of Mines, Center of Wave Phenomena-CWP, Golden, Colorado.
- Yilmaz, O. (2000) Seismic Data Processing. SEG, Tulsa, Oklahoma.

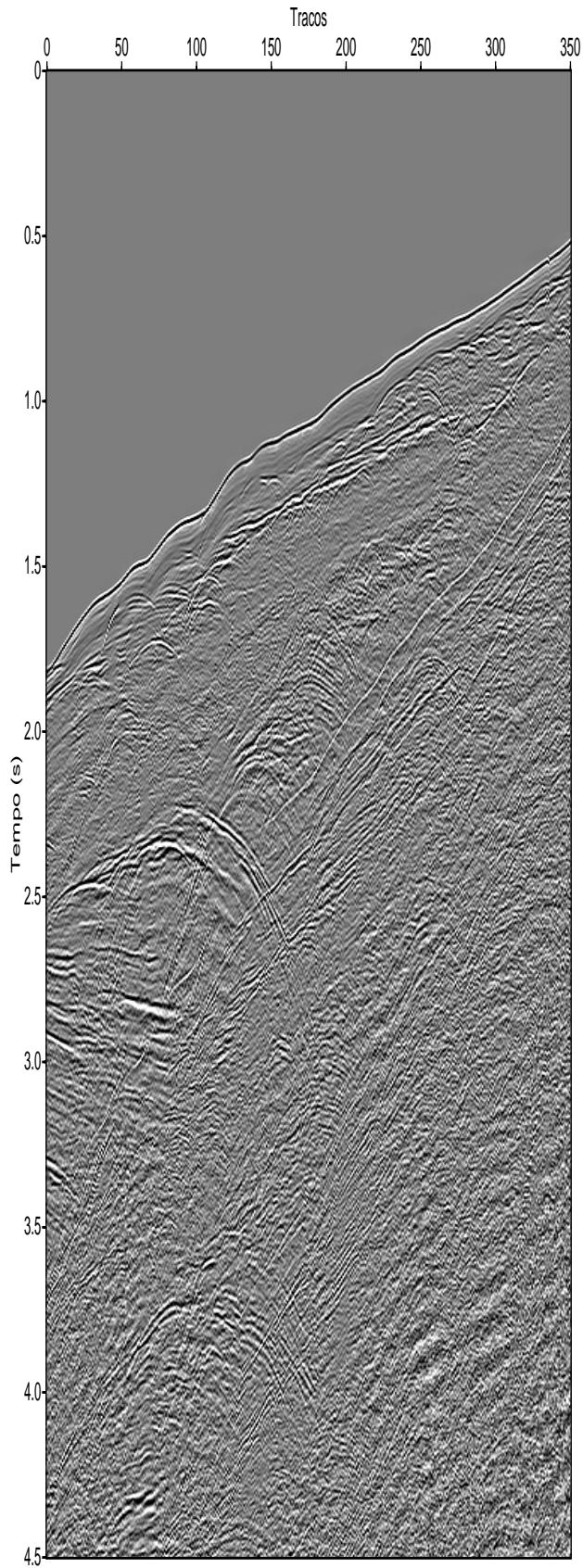


Figura 1: Seção empilhada do dado de talude da Bacia de Camamu. Várias difrações provenientes de eventos estraçalhados são visíveis em toda a seção.

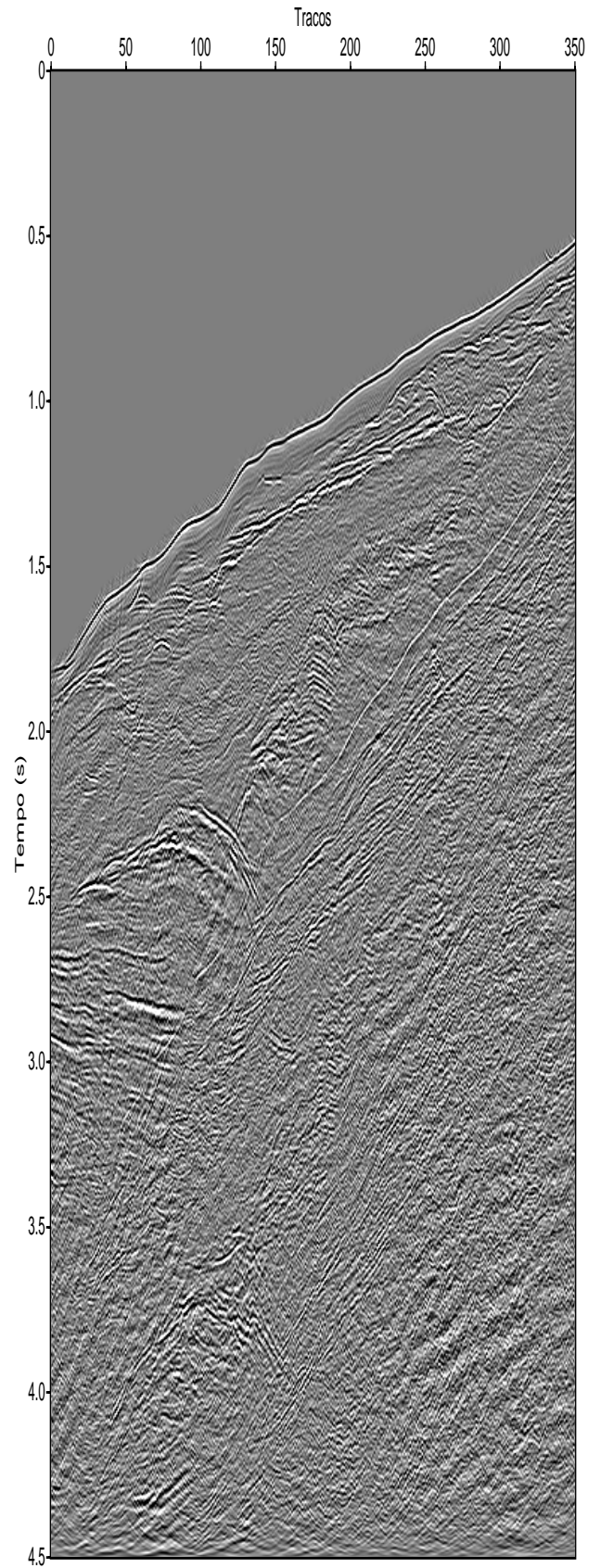


Figura 2: Seção migrada com o método Phase-Shift. Graças ao processo de migração podemos observar um melhor colapso das difrações.

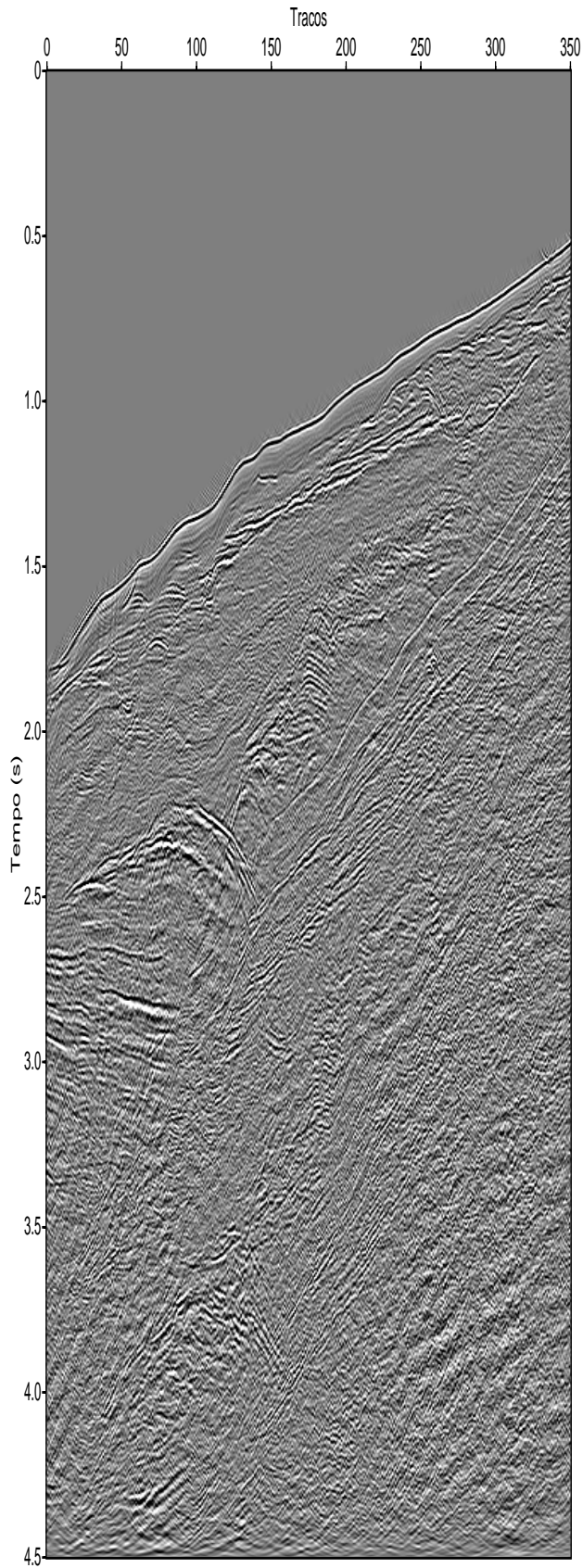


Figura 3: Seção migrada com o método de migração em tempo pós-empilhamento TK (tempo - número de onda).

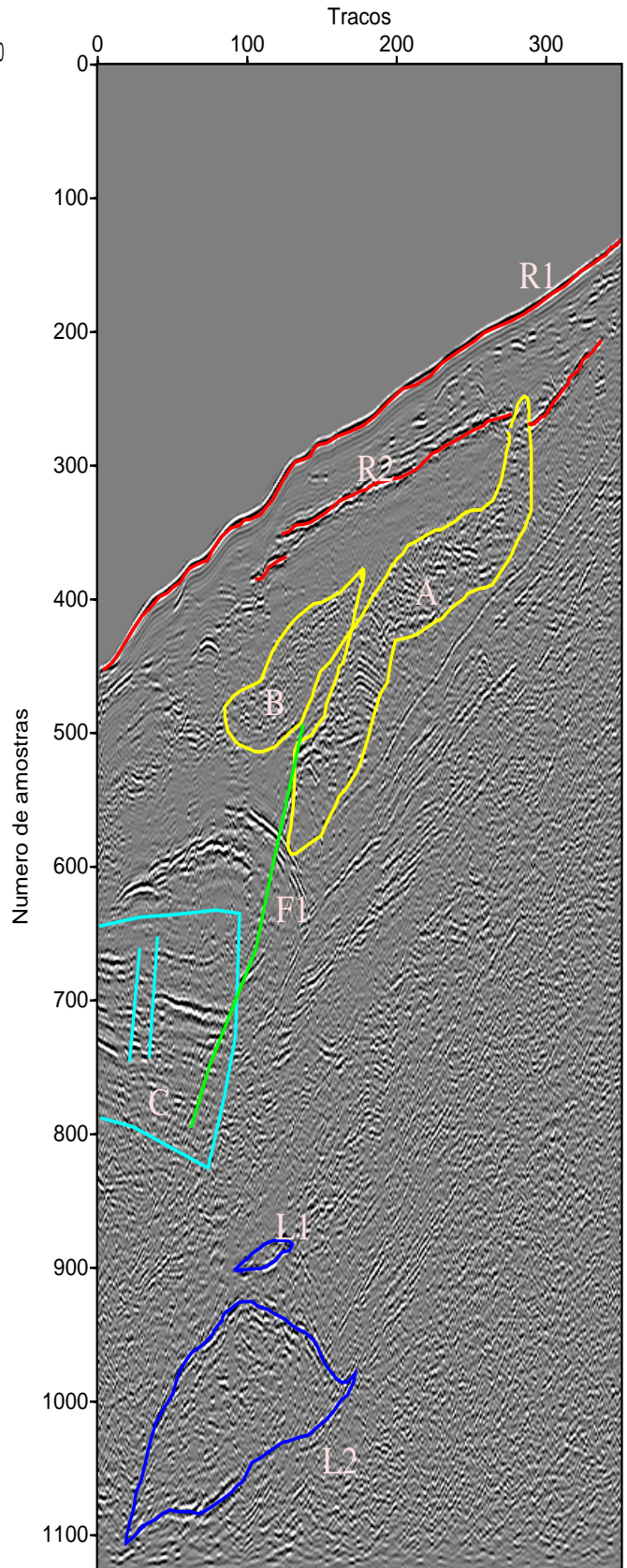


Figura 4: Seção interpretada a partir da seção migrada TK após a filtragem na frequência com filtro passa-banda (5 – 45Hz). Os dois refletores principais são sinalizados com R1 e R2, as zonas de deslizamento são indicadas com A1 e A2 e a falha F1.



Figura 5: Seção de atributo sísmico de primeira derivada em tempo a partir da seção migrada TK. Nesta seção é nítida a zona de deslizamento A.

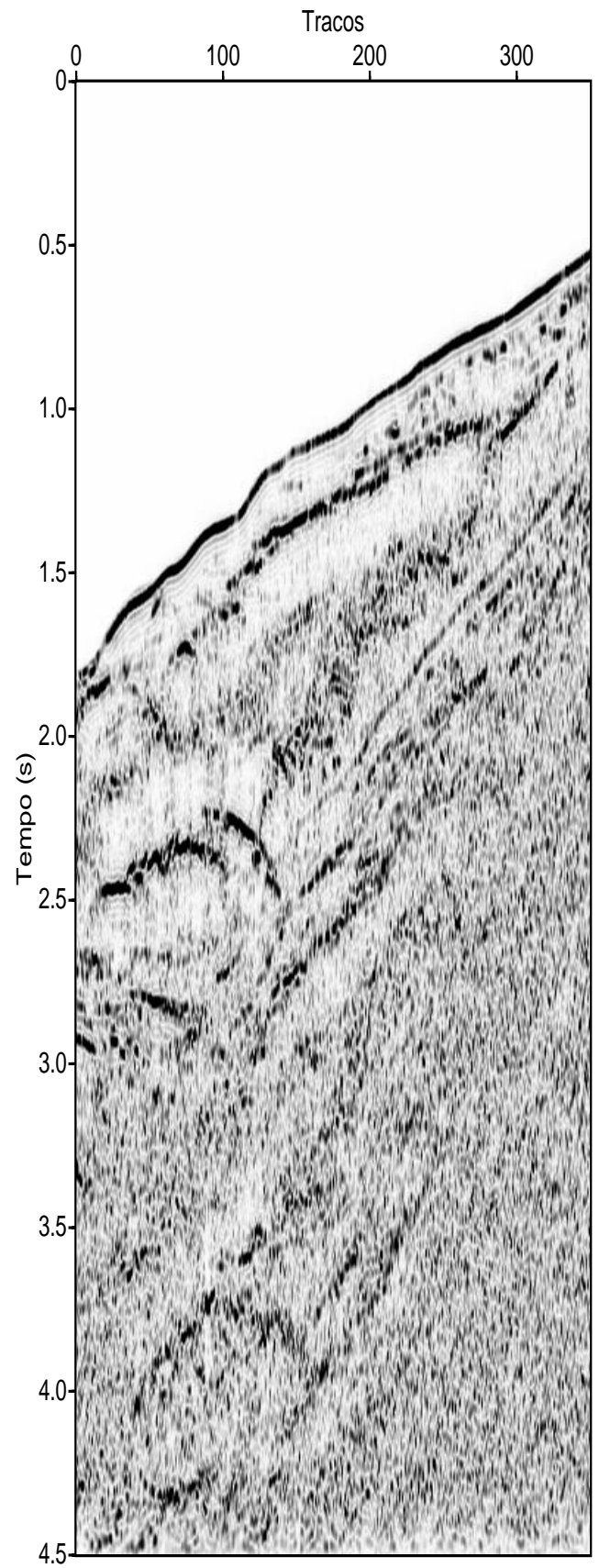


Figura 6: Seção de atributo sísmico de envelope de amplitude calculada a partir da seção migrada em tempo pelo método TK.