



Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (tecVA).

Élvio M. Bulhões, PETROBRAS S/A, Brasil
Wander Nogueira de Amorim, PETROBRAS S/A, Brasil

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.

Resumo

A SismoCamada Elementar (SCE) ou camada de rocha de menor espessura que o dado sísmico consegue resolver é aqui definida como o elemento chave de ponderação para o cálculo e obtenção do dado sísmico com a técnica Volume de Amplitudes (tecVA), com processamento sísmico pós empilhamento, com e sem rotação de fase.

Sendo assim, apesar da robustez dessa técnica, quanto maior for o grau de fidelidade na tomada dos valores dessa SCE para determinado dado sísmico, maior será a resposta geológica, litológica e estrutural, advinda do dado sísmico tratado.

Introdução

A SismoCamada Elementar (SCE), como aqui definida para a Técnica Volume de Amplitudes (tecVA), é a camada ou conjunto de camadas geológicas menos espesso que o dado sísmico sob investigação consegue resolver. Nada mais é do que uma aproximação do limite de resolução definida por Rayleigh e no contexto da resolução sísmica vertical abordada por Yilmaz.

Sua obtenção baseia-se na observação e leitura do menor período **T** (relacionado à mais alta frequência), em tempo ou profundidade, no objetivo exploratório ou de interesse provisório, onde a espessura **M** da SCE será equivalente à metade desse período, ou seja, por exemplo, um pico branco como a entrada de uma areia de baixa velocidade e o pico preto subsequente como a saída dessa areia.

A aplicação desse princípio ao dado sísmico empilhado para obtenção do dado sísmico tecVA, tanto normal quanto com rotação de fase, pode ser feita de duas formas: Obtendo-se o valor **M** como parâmetro apenas para o objetivo exploratório ou de interesse imediato ou fazendo-se uma análise da variação desse meio período **M** na vertical. Nos dois casos utiliza-se esse meio período **M** como fator de ponderação para o cálculo e obtenção do dado sísmico tecVA.

A definição da SCE é considerada como de fundamental importância para o tratamento da resposta geológica do dado sísmico e a tecVA a melhor resposta envolvendo a aplicação desse princípio já que obtém-se um dado sísmico que mostra tanto na horizontal como na vertical as variações laterais de sismofácies, além de ressaltar enormemente todas as descontinuidades contidas no dado original.

A Técnica Volume de Amplitudes (tecVA)

A técnica Volume de Amplitudes objetiva a geração de mapas de amplitude e seções sísmicas verticais e horizontais que reflitam, tanto quanto possível, a geologia de subsuperfície. Em áreas de fronteiras de exploração, onde o conhecimento da geologia é totalmente dependente das informações sísmicas, são necessários o imageamento dos detalhes nos limites entre as seqüências sísmicas ou de suas camadas internas, para previsões geológicas referentes ao sistema petrolífero. O mesmo acontece em áreas de desenvolvimento, onde a geometria dos reservatórios é na maioria das vezes melhor visualizada através desta técnica.

Na técnica VA de extração do envelope do traço sísmico (fase zero), pressupõe-se que toda reflexão sísmica positiva ou negativa tem significado geológico e representam interfaces entre camadas. Eventos coerentes do tipo "tunning", reverberações, etc., indesejáveis, se presentes no dado, serão também ressaltados, porém, o cálculo envolvido nada mais é do que uma média móvel ao longo do traço. Esta técnica foi apresentada em 1999 por Bulhões, E. M. no 6^o Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, como ferramenta para a obtenção de mapas de variação lateral de sismofácies utilizando-se a média RMS (X_{RMS}) ou a média dos Valores Absolutos das Amplitudes (**A**), como mostrado na **figura 01**.

Os conceitos em que se baseia esta técnica mantém estreita semelhança com os aqueles envolvidos na transmissão e recepção de sinais de rádio. Oliveira (2005), observou que, sob a ótica adotada nesta técnica, a informação sobre a sub-superfície é conduzida pelo dado sísmico através de uma frequência portadora, sem função adicional. A média de valores absolutos ou de RMS cumpre a função de eliminar a frequência portadora, disponibilizando apenas a informação desejada.

A informação obtida com a técnica VA compreende, a um só tempo, dados sobre a amplitude e sobre flutuações na

freqüência portadora fundamental (amplitude, freqüência e fase moduladas). Assim, esta técnica tem o potencial de mostrar pequenas flutuações que, pela correlação lateral traço a traço, podem revelar características tais como falhas, canais, etc.

Atualmente, a utilização desta metodologia foi ampliada, pelo mesmo autor, para utilização tanto nos volumes sísmicos em tempo quanto em profundidade. A conversão dos dados sísmicos em tecVA pode ser realizada através de qualquer *software* de interpretação disponível no mercado, desde que os mesmos tenham programas capazes de obter as medias acima mencionadas para o volume sísmico e/ou para os horizontes mapeados. Para o volume tecVA, é necessário que se escolha a janela de tempo relacionada ao período do dado sísmico na região do objetivo a ser investigado. Em suma essa técnica se fundamenta, como mostra o formulário abaixo (figura 1), na escolha do algoritmo a ser utilizado e na obtenção precisa da janela **M** (SismoCamada Elementar), em tempo ou profundidade, a ser empregada para o cálculo.

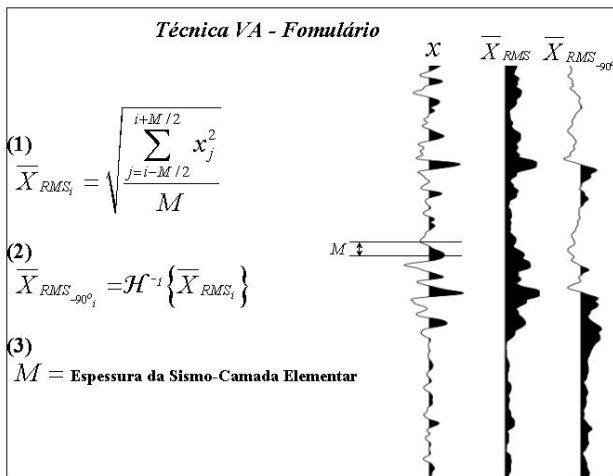


Figura 1: Formulário da técnica Volume de Amplitudes onde: (1) é a média RMS (2) é a transformada inversa de Hilbert, rotação de fase -90° e (3) é a medida da janela de ponderação equivalente a SCE.

A tecVA rotacionada de fase é uma variação da técnica Volume de Amplitudes e se obtém através da aplicação da transformada inversa de Hilbert no dado sísmico tecVA. Com isso o dado sísmico resultante ressalta os altos contrastes de impedância que empiricamente, se tomarmos como *background* os folhelhos de uma determinada bacia sedimentar, são dados por litologias como areias de baixa e alta velocidade, conglomerados, vulcânicas, intrusivas, folhelhos geradores, carbonatos, etc. Estes altos contrastes de impedância apresentam uma certa coincidência, no aspecto geral, com o perfil de raios gama, exceto pelos folhelhos geradores que tem raios gama alto. Há também uma forte semelhança com os afloramentos geológicos vistos em superfície.

Identificação e aplicação da SismoCamada Elementar

A SCE aqui definida é a menor camada geológica que o dado sísmico sob investigação consegue resolver. Não pode ser vista como uma aproximação tão acurada quanto o limite de resolução vertical do comprimento de onda ($\lambda/4$) definida por Rayleigh, mas sim inserida no contexto da resolução sísmica vertical abordada por Yilmaz, onde sugere que apesar da resolução sísmica vertical ficar em torno de 1/4 de λ , essa resolução variará para mais ou para menos dependendo do nível de ruído, do tamanho dos coeficientes de reflexão e da presença de eventos com amplitudes suficientemente altas que possam ser identificadas no dado sísmico.

Ou seja, dado um traço sísmico onde foi identificada a maior freqüência (figura 2), o pico branco representando a entrada de uma areia de baixa velocidade e o pico preto subsequente como a saída dessa areia, a SCE é assim a própria areia e representa o meio período **M** dessa mais alta freqüência de período **T**.

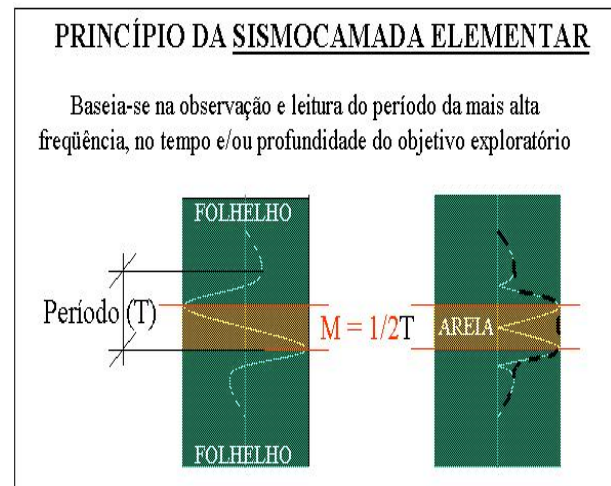


Figura 2: Significado Sismo-Geológico da SCE.

Se partíssemos diretamente para utilizar o limite da resolução vertical definida por Rayleigh (figura 3b) sem levarmos em conta a existência de um limite de resolução geológica, que deverá ser extraído diretamente do dado sísmico, e aplicado como parâmetro da técnica Volume de Amplitudes (figura 3c), recairíamos em uma não extração e conseqüente não visualização da geologia do dado sísmico. Desse modo, estaríamos simplesmente ressaltando os pontos de inflexão do dado original (linha vermelha na figura 3a), os quais apareceriam no dado sísmico tratado por essa técnica de forma geologicamente errada e com uma falsa recuperação de altas freqüências. Ou seja, obteríamos uma resposta sem significado geológico como resultado da utilização da tecVA, que notoriamente é utilizada somente para ressaltar a geologia que está embutida no dado sísmico através da visualização das variações laterais de sismofácies e discontinuidades.

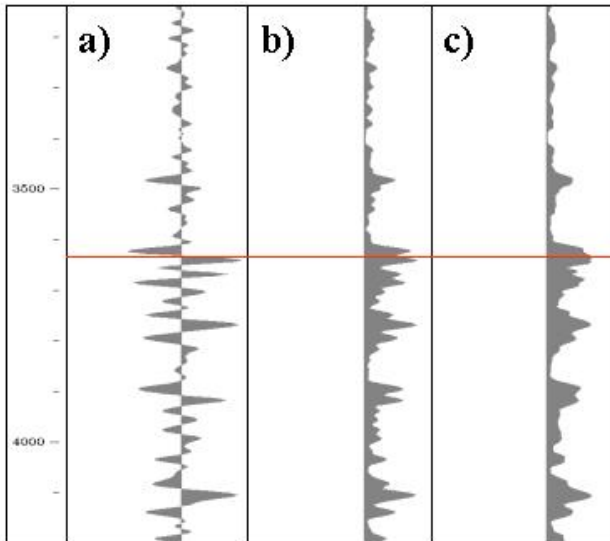


Figura 3: a) traço sísmico original em tempo, b) traço sísmico com a tecVA utilizando-se uma resolução vertical de $\lambda/4$ ou $T/4$ e c) traço sísmico com tecVA utilizando-se o princípio da SCE $\lambda/2$ ou $T/2$. Nota: Se $\lambda = V/F$ e a Zona de Fresnel após migração é dada por $\lambda/4 = V/4F = VT/4$ então dividir $\lambda / 4$ equivale a dividir $T / 4$.

A identificação e aplicação do princípio da SCE através da tecVA nos fornece excelentes resultados na visualização da geologia embutida no dado sísmico, tanto com a tecVA convencional quanto com a rotacionada de fase. Essa última como uma ótima opção para visualização da geologia contida nos dados sísmicos em seções verticais e a anterior para visualização tanto em seções horizontais (*time slices*) quanto sobre horizontes (*horizon slices*).

O aspecto volumétrico das seções sísmicas em tons de cinza obtidas com a técnica VA rotacionada de fase, respeitando-se o conceito da SCE, se assemelham a afloramentos de rochas vistos no campo. Isso se deve ao fato de que a rotação de fase aplicada conjuntamente com a tecVA ressalta todos os altos contrastes de impedância existentes no dado sísmico.

Exemplos e Resultados

Segue abaixo na **figura 3** a comparação de três *time slices* extraídos de uma mesma área e num mesmo tempo. A **figura 3a** mostra o dado sísmico convencional e as **figuras 3b e 3c** este mesmo dado tratado com a Técnica VA utilizando-se os parâmetros $T/4$ e $T/2$ respectivamente. Note que na **figura 3c** com o parâmetro $T/2$ as sismofácies são mais bem individualizadas e as discontinuidades visivelmente adquirem caráter mais contínuo enquanto que na **3b** os pequenos detalhes são devidos a não atenuação dos pontos de inflexão.

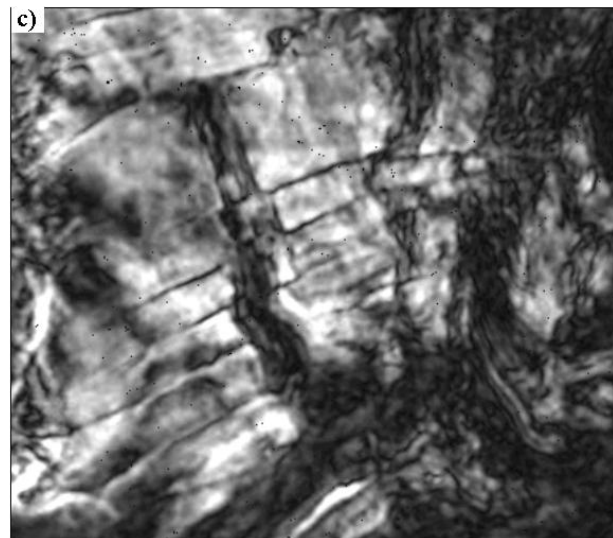
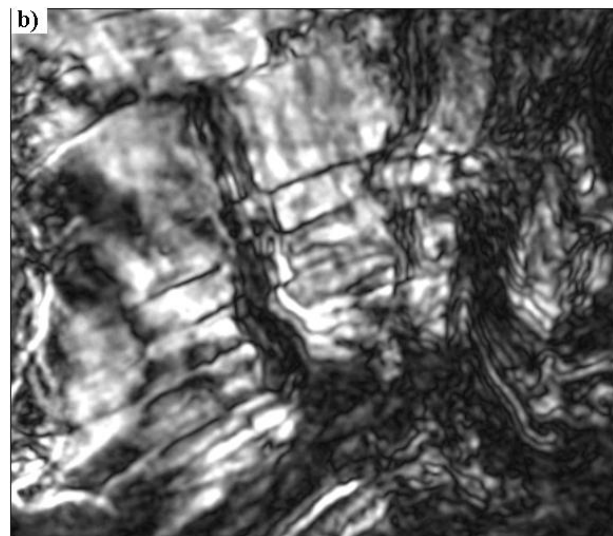
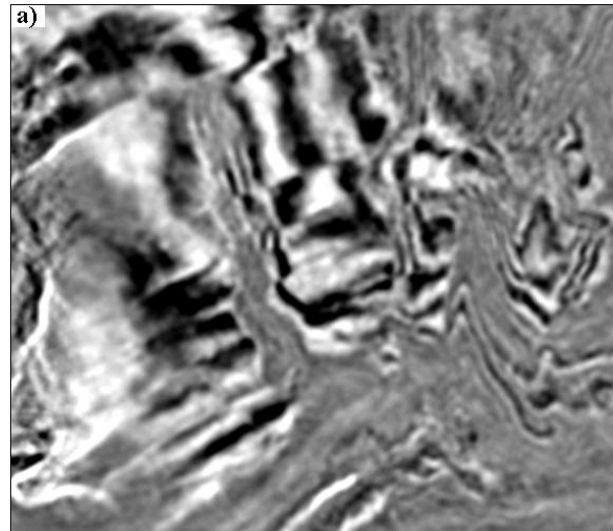


Figura 3: *Time Slices* com: a) sísmica convencional, b) com tecVA sobre o dado anterior parâmetro $T/4$ e c) com tecVA parâmetro $T/2$ sobre o dado convencional em a).

A **figura 4** também compara duas seções horizontais extraídas de uma mesma área e para um mesmo tempo. Na **figura 4a** tem-se o dado sísmico convencional e em **4b** o processamento com a tecVA utilizando-se o parâmetro T/2 para a SCE. Perceba que as canalizações e lobos são muito melhor definidos em **4b**.

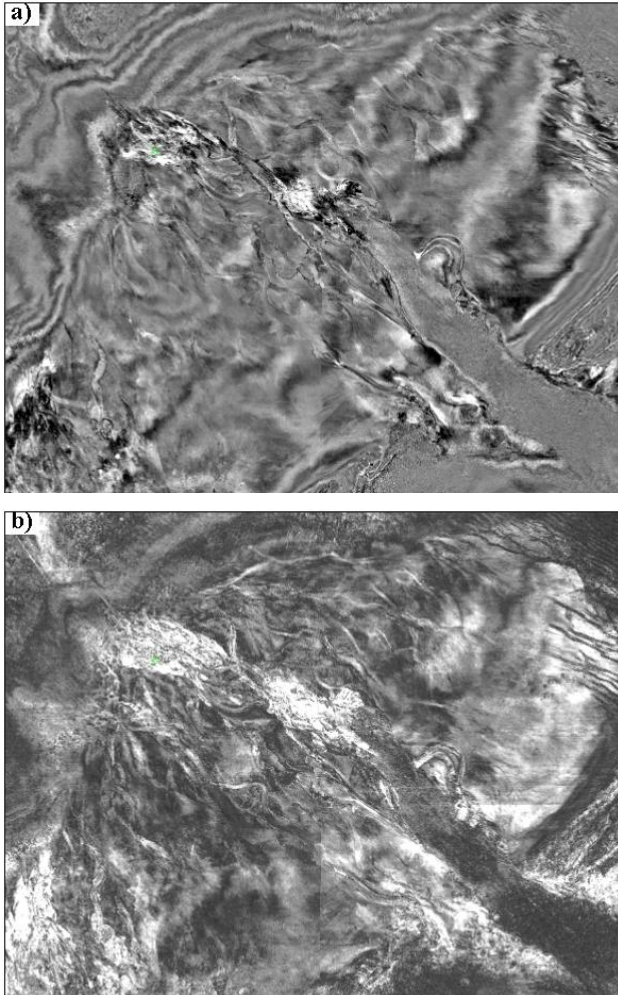


Figura 4: *Time slice* com: a) dado sísmico convencional e b) *time slice* com processamento tecVA utilizando-se parâmetro T/2.

Na **figura 5** tem-se a comparação em seção vertical do dado sísmico convencional (**5a**) com a tecVA rotacionada de fase -90° (**5b**). Nas duas figuras observa-se um perfeito ajuste entre o poço e a sísmica, exceto por um pequeno deslocamento do dado sísmico para baixo em **5b**. Em **5b** o aspecto volumétrico visual desse dado se correlaciona perfeitamente ao perfil de raios gama, mostrando que a SCE escolhida também foi a mais adequada.

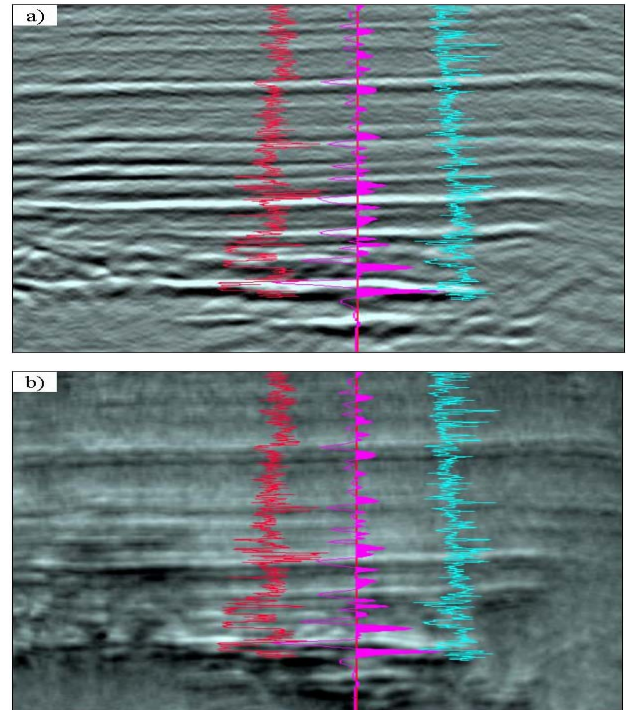
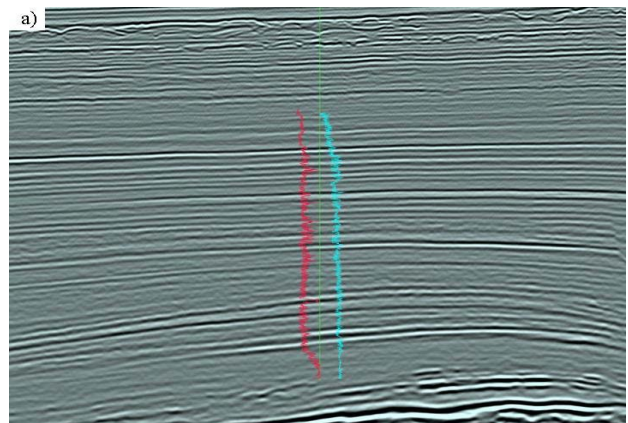


Figura 5: a) seção sísmica convencional contendo poço com perfis raios gama (vermelho), sintético (rosa) e sônico (azul) e b) seção sísmica tecVA com rotação de fase e repetição dos mesmos perfis como em a).

Na **figura 6**, tem-se uma outra comparação em seção vertical do dado sísmico convencional (**6a**) com a tecVA rotacionada de fase (**6b**). Em **a e b** observa-se um perfeito ajuste entre o poço e a sísmica, sendo que em **b** deve-se dar um pequeno deslocamento do perfil para cima. Em **b** o aspecto volumétrico desse dado se ajusta perfeitamente com o perfil de raios gama mostrando que a SCE escolhida também foi a mais adequada.



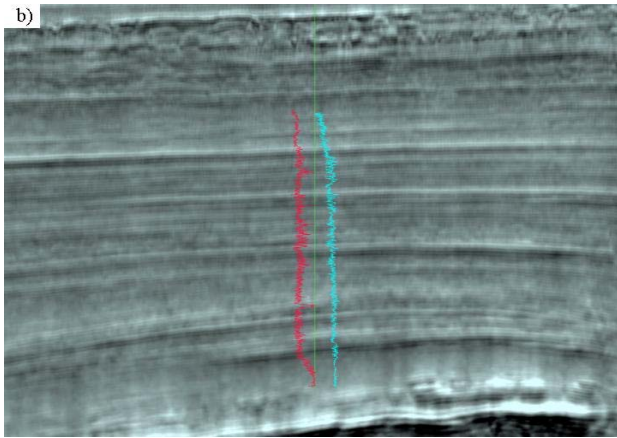


Figura 6: a) seção sísmica convencional contendo poço com perfis raios gama (vermelho) e sônico (azul) e b) seção sísmica tecVA com rotação de fase e repetição dos mesmos perfis como em a).

As **figuras 7 e 8** mostradas a seguir são exemplos de linhas sísmicas normais e com aplicação da tecVA ajustadas à SCE para o objetivo exploratório. Observe nestas figuras que o ressaltado dos altos contrastes de impedância também ressaltam a geologia do dado sísmico.

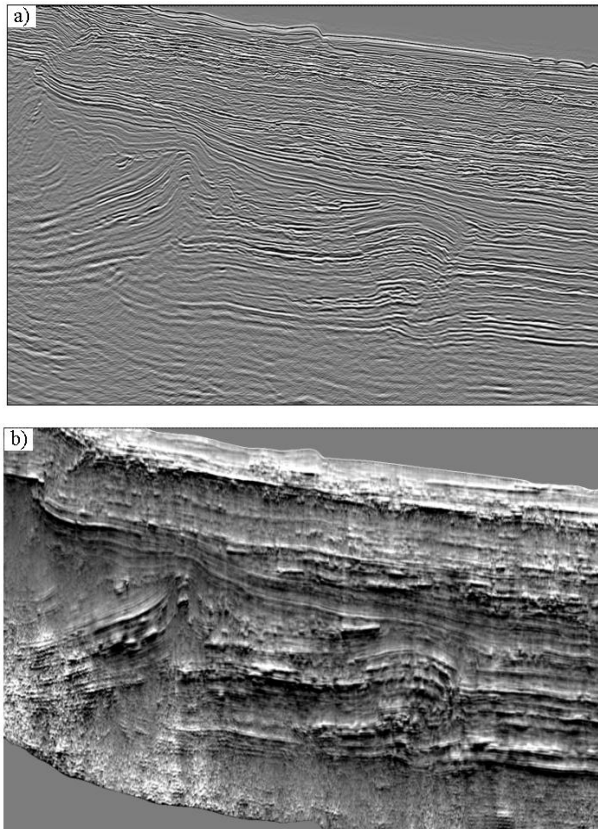


Figura 7: a) seção sísmica convencional e b) seção sísmica de a) aplicada a tecVA com rotação de fase. Veja nesta última o ressaltado de todos os altos contrastes de impedância. Cortesia da CGG.

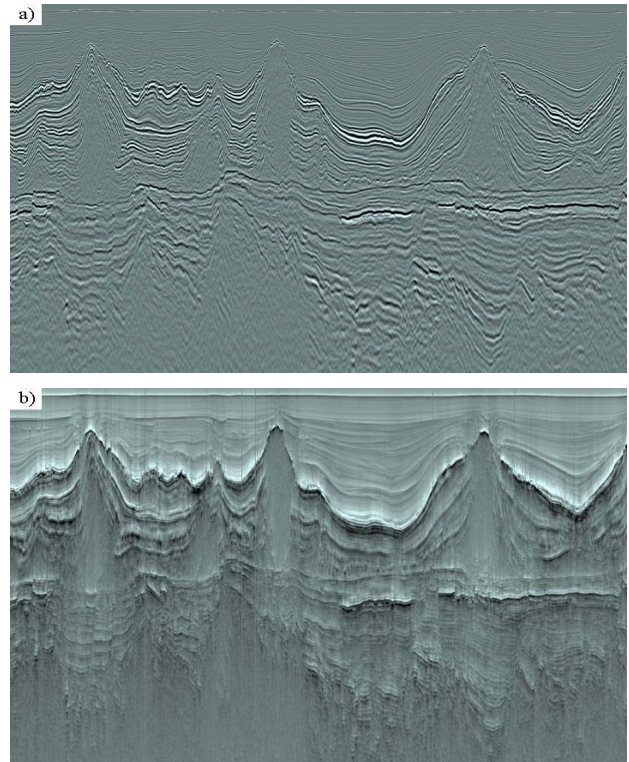


Figura 8: a) seção sísmica convencional e b) seção sísmica de a) aplicada a tecVA com rotação de fase. Em b) fica muito claro o ressaltado das discontinuidades e da separação dos pacotes ou camadas com contrastes de impedância similares. Cortesia da VERITAS.

A **figura 9** abaixo mostra a aplicação da tecVA sobre um horizonte. Com a aplicação da SCE adequada percebe-se o grau de detalhamento que se consegue obter no que diz respeito as discontinuidades e variações laterais de sismofácies.

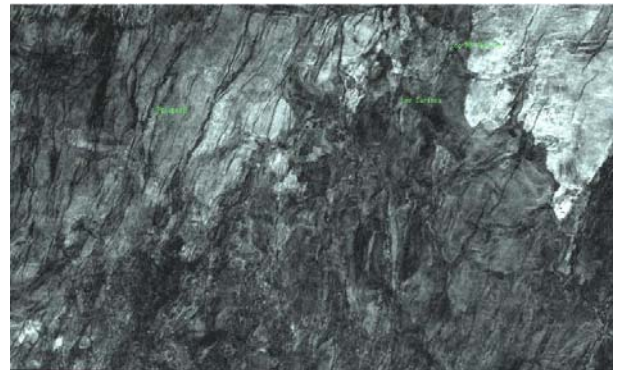


Figura 9: TecVA aplicada sobre horizonte topo do Rift. Neste caso observa-se com clareza o alinhamento de falhas de direção NNE truncadas por um outro alinhamento menos claro de direção NW.

A **figura 10** abaixo mostra a aplicação da tecVA sobre um horizonte no Paleoceno.

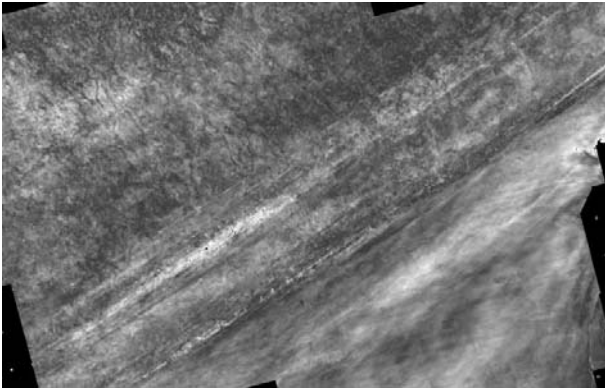


Figura 10: TecVA aplicada sobre horizonte no Paleoceno.

Com a aplicação da espessura da SCE adequada a esse horizonte na **figura 10**, percebe-se o grau de detalhamento que se consegue obter. Observe a distribuição de possíveis cordões litorâneos de direção SW-NE e pequenas canalizações de direção NW truncando esses cordões.

Conclusões

A escolha do parâmetro em torno de $T/2$ para a espessura da SismoCamada Elementar (SCE) é de fundamental importância para que se obtenha uma resposta mais geológica possível com a técnica VA, visto que se nos distanciarmos desse valor para baixo os pontos de inflexão não serão atenuados, enquanto que para cima intuitivamente percebe-se que a geologia será atenuada.

Apesar do parâmetro $T/2$, utilizado para geração dos exemplos mostrados acima, ter sido extraído como valor médio para as respectivas zonas de interesse de cada exemplo, ou seja, nenhuma variação com o tempo foi admitida, ainda assim pode-se observar que as respostas com esse processamento são muito boas, indicando a robustez dessa técnica.

Com isso percebe-se intuitivamente que uma variação em torno de $T/2$ da ordem de $\pm T/8$ para definição da espessura da SCE é perfeitamente aceitável, sem maiores problemas para se obter a visualização da geologia embutida no dado sísmico convencional.

O princípio da SCE é de fácil implementação e pode ser aplicado através da técnica VA em dados sísmicos 3D, 2D ou sobre o horizonte, utilizando-se qualquer plataforma de interpretação.

Agradecimentos

Eu gostaria de agradecer a todos os colegas da PETROBRAS que se entusiasmaram com a técnica VA e de uma forma ou de outra me subsidiaram com discussões e retornos a respeito da mesma. Agradeço também aos colegas Flavio Burda, Gustavo Correia,

Afonso Mauro e Luiz Caldeira por terem fornecido parte dos dados sísmicos utilizados nesse trabalho.

Gostaria de agradecer também aos colegas Raimundo Freire, Armando Vicentine, André Romanelli e Carlos Varela pelas contestações técnicas advindas quando da elaboração e desenvolvimento da técnica Volume de Amplitudes. Principalmente aos dois últimos colegas citados por terem sido os revisores desse trabalho.

Agradeço ao colega Adelson Oliveira por esse ter sido um dos colaboradores na confecção desse artigo.

Agradeço também a cortesia da VERITAS e da CGG por terem concedido a utilização de parte dos dados sísmicos aqui apresentados.

Finalmente, eu gostaria de agradecer a PETROBRAS pela permissão em publicar esse trabalho, especialmente a minha gerência imediata pelo incentivo a publicação e divulgação desse artigo.

Referências

- Bulhões E. M., 1999. Técnica "VOLUME DE AMPLITUDES" para Mapeamento de Feições Estruturais. SBGF, n. 296
- Duarte, O. O., 1997. Dicionário enciclopédico Inglês-Português de Geofísica e Geologia., p. 168,174.
- Oliveira, A. S., 2005, comunicação oral.
- Yilmaz O., 1988. Seismic Data Processing., p. 468-469.