



## Aplicação de atributos sísmicos na caracterização de falhas e fraturas em dados sísmicos 3D da Bacia de Sergipe-Alagoas (Nordeste do Brasil)

Arthur Vítor Medeiros Francelino (PPGG, PRH-22/UFRN), Anderson Henrique de Melo (PPGG, PRH-22/UFRN), Alex Francisco Antunes (PPGG, PRH-22 e DG/UFRN).

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> 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 12<sup>th</sup> 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

With the advent of 3D seismics, improving the characterization of fractures that influence the flow of hydrocarbons can reassess mature oil fields. The use of seismic attributes and filtering allows an improvement in identifying and highlighting fractures on seismic data. The creation of detailed and background steering cubes allowed an improvement in the quality of the filters and attributes, resulting in the visualization of features at local and regional scales.

For this work, two types of filters were used to enhance the interpretation of horizons and to highlight faults and fractures: the dip-steered median filter was used to remove random noise and increase the lateral continuity of reflectors, and the fault enhancement filter was applied to enhance the edges of the reflections. The filtering step was applied to produce attributes of max and min curvature and min similarity, to identify the distribution of faults. The use of seismic attributes and filtering strongly enhanced the identification small-scaled fractures.

### Introdução

A visualização das falhas e fraturas em dados sísmicos está diretamente relacionada à sua resolução, razão sinal-ruído, existência de múltiplas, dentre outros fatores (Neves, *et al.* 2004). Em virtude disso, em geral apenas falhas de grande porte podem ser interpretadas de forma mais fidedigna e com uma melhor visualização lateral do traço de falha em um *timeslice*. Para auxiliar na identificação e melhorar a visualização das falhas e fraturas podemos utilizar filtros e atributos sísmicos que auxiliam na retirada de ruído aleatório e no realce das descontinuidades, respectivamente.

Diante de tais circunstâncias, o presente trabalho possui como objetivo a utilização de atributos sísmicos para caracterização do sistema de falhas e fraturas. Para a realização do trabalho utilizamos os levantamentos sísmicos dos campos de Siririzinho e Carmópolis, que são campos produtores de petróleo localizados na porção emersa da sub-bacia de Sergipe, Bacia de Sergipe-Alagoas, no Nordeste do Brasil (fig.1). A área de estudo corresponde geologicamente a dois altos estruturais, o

Alto de Siririzinho e o Alto de Carmópolis, tendo suas estruturas orientadas principalmente a NE, com falhamentos de pequeno rejeito.

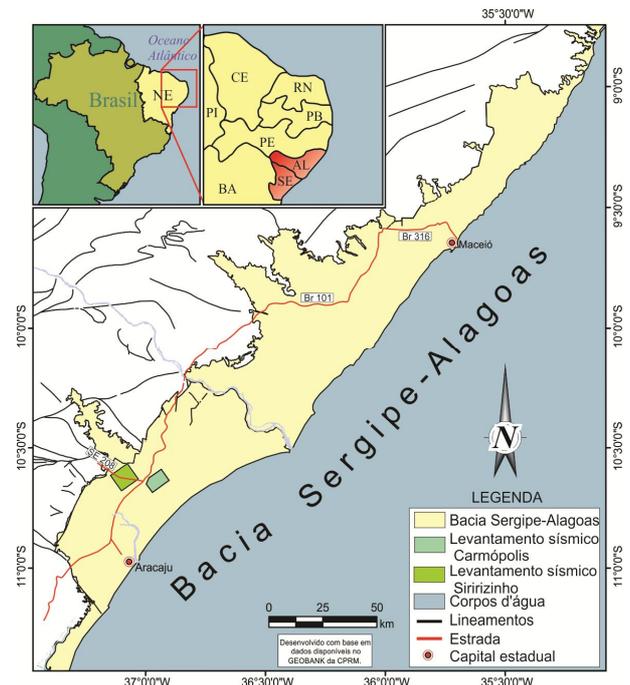


Fig.1 – Mapa de localização dos levantamentos sísmicos.

### Método

A metodologia empregada para a realização do trabalho consistiu basicamente na (1) criação dos cubos de *steering*; (2) aplicação dos filtros; (3) aplicação e análise dos atributos sísmicos (fig. 2). Os atributos selecionados foram o de similaridade e curvatura que são popularmente empregados no mapeamento de falhas e zonas de fratura em dados sísmicos.

**Cubo de *steering*** – Possui como objetivo extrair as informações de mergulho e azimute do dado sísmico possibilitando a aplicação em atributos sísmicos que são baseados em tais informações, melhorando a precisão do atributo e o poder de detecção de objetos (Beheer 2009). Dependendo da escala das estruturas a serem realçadas, dois cubos de *steering* são gerados: o cubo de *detailed steering* servirá de entrada para o realce de estruturas de pequena escala quando combinados com os atributos sísmicos, já o cubo de *background steering* realça feições regionais. As informações do cubo de *steering* podem ser utilizadas de duas formas, *steering* central (*central*

*steering*) e *steering* completo (*full steering*) (fig. 3). No *steering* central o mergulho/azimute no ponto de avaliação é direcionado para encontrar todos os traços que precisarão ser computados para a resposta do atributo e no *steering* completo o mergulho/azimute é aplicado para todas as posições do traço (fig.3) (Rooij e Tingdahl 2002).

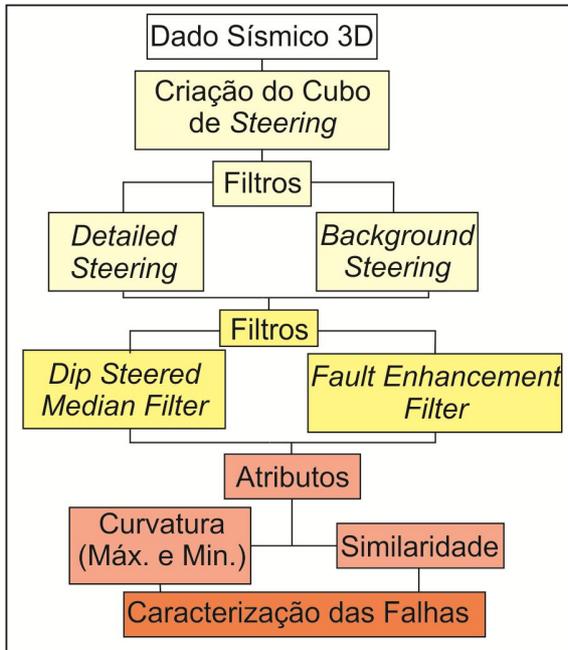


Fig. 2 – Fluxograma das etapas de trabalho.

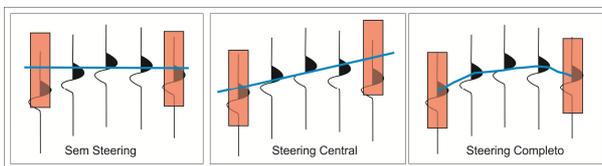


Fig. 3 – Esquema do funcionamento do *steering* central e completo (Beheer 2009).

**Dip-steered median filter** – Tem como finalidade remover ruídos aleatórios e realçar a continuidade lateral do dado sísmico, proporcionando um efeito de suavização de borda, aumentando a razão sinal/ruído (Beheer 2009). Para a aplicação deste filtro é utilizado o cubo sísmico mais o cubo de *steering*.

**Fault-enhancement filter** – É aplicado para realçar as bordas da reflexão (falhas e fraturas). Este filtro funciona com a combinação do *dip-steered median filter*, *dip-steered diffusion filter*, do cubo de *steering* e do dado sísmico. Quando a qualidade do dado sísmico é boa (similaridade é alta), é aplicado o *dip-steered median filter*, se a qualidade é baixa (próximo de falhas), é aplicado o *dip-steered diffusion filter*, promovendo um efeito de quebra na terminação da reflexão (Beheer 2009).

**Similaridade** – O atributo de similaridade é uma forma de atributo de coerência, que expressa o quanto dois ou mais traços são similares, tanto na direção da *crossline* como na *inline* (Chopra 2001). As discontinuidades traço

a traço no dado sísmico geralmente são fruto de falhas, as quais mudam as características dos traços ao redor, promovendo uma perda de similaridade entre os traços sísmicos (Bahorich & Farmer 1995). O atributo mostra quão similar um traço é do outro em uma escala com valores entre zero e um, sendo o valor zero zonas com baixa similaridade enquanto que o valor igual a um, representa regiões com alta similaridade.

**Curvatura** – Atributos de curvatura vêm sendo cada vez mais utilizados na caracterização de falhas e fraturas, baseando-se no fato de que áreas de superfícies com determinadas curvaturas estejam relacionadas a zonas de descontinuidades, podendo estas serem representadas por falhas, fraturas ou lineamentos (Robert, 2001). Rooij e Tingdahl (2002) explicam que a curvatura em eventos sísmicos contínuos é próxima a zero, enquanto que, em falhas, em virtude do mergulho a curvatura se mostra mais acentuada.

Os atributos de curvatura selecionados para o trabalho foram: curvatura mais positiva (*most positive curvature*) e da curvatura mais negativa (*most negative curvature*). Segundo Roberts (2001), estes atributos identificam as superfícies de maiores curvaturas positivas e negativas (curvatura mais positiva e da curvatura mais negativa, respectivamente), ressaltando assim feições mais isoladas umas das outras, o que permite uma melhor distinção e localização de estruturas, tornando os resultados menos ambíguos do que os gerados pelos outros tipos de atributos de curvatura.

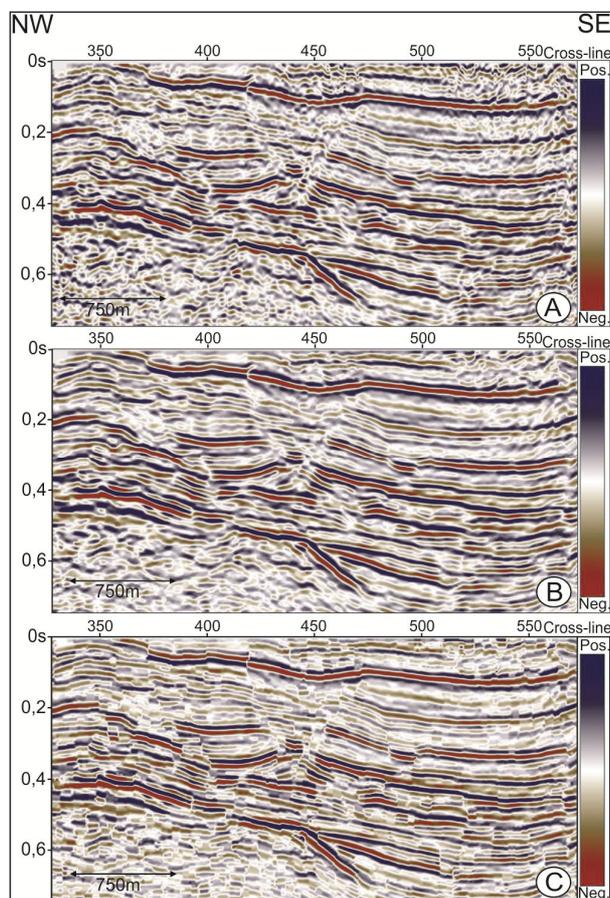
Convenciona-se que atributos de curvatura são utilizados em horizontes (refletores sísmicos interpretados) devidamente filtrados, de modo que a razão sinal-ruído seja a maior possível e a resposta dos atributos esteja livre de “artefatos”, trazendo maior número de informações geologicamente plausíveis. Porém, Rooij e Tingdahl (2002) defendem que se o atributo de curvatura for utilizado em conjunto com um “*full steering*”, as informações de mergulho e azimute serão seguidas traço a traço, simulando o mapeamento de um “horizonte local”, que pode ser utilizado para atribuir valores de curvatura locais, fazendo com que a aplicação do atributo possa ser feita no dado como um todo (*timeslices*) e não somente em horizontes já interpretados.

## Resultados

Durante o processo de criação do cubo de *steering* o software utilizado dispõe de cinco tipos de algoritmos de *steering*, dos quais se optou pelo denominado preciso (*precise*), que é um algoritmo baseado na transformada de Fourier. Tal algoritmo requer um tempo maior para processamento, no entanto, fornece resultados com mais exatidão (Beheer 2009). A criação do cubo de *steering* passou por três passos: (1) criação de um *steering* bruto com filtro de saída de 1x1x1 (*inline/crossline*/número de amostras); (2) aplicação do filtro *steering* com filtro de 0x0x5 para obtenção do *detailed steering*; e (3) aplicação do filtro *steering* com filtro de 5x5x0 para obtenção do *background steering*.

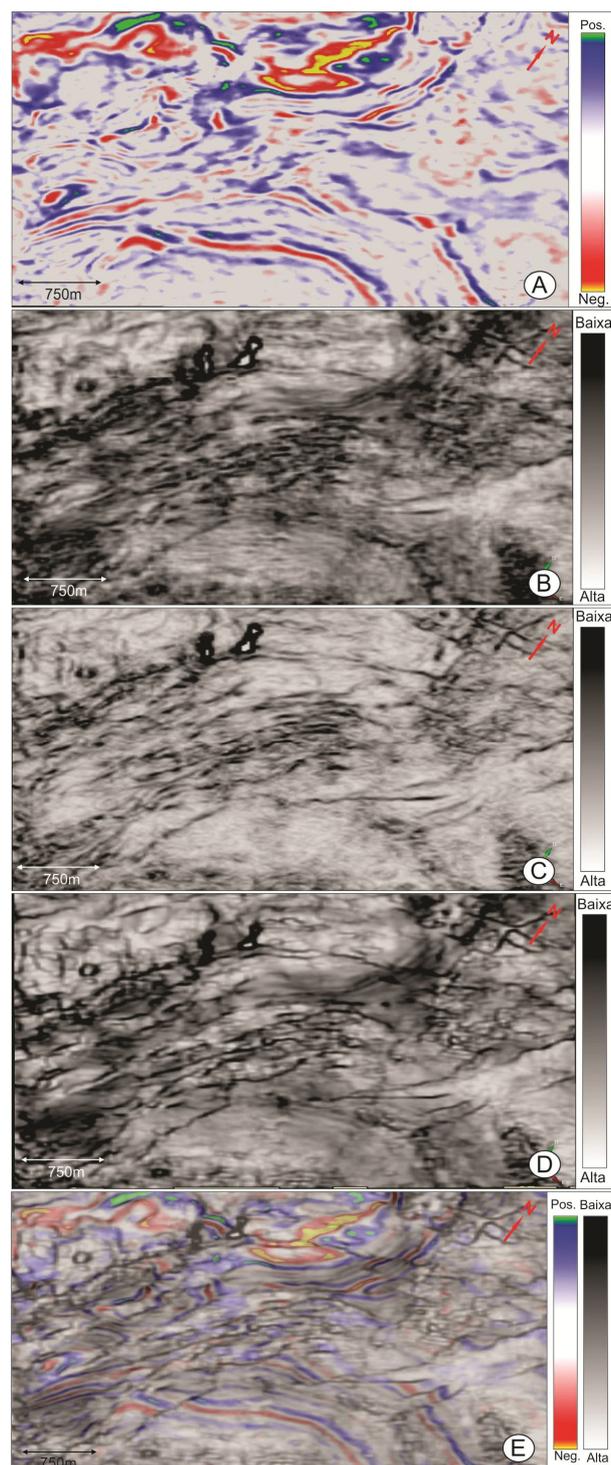
Para o *dip-steered median filter* foi utilizado o cubo de *steering* bruto obtendo-se bons resultados como a retirada de grande parte dos ruídos e uma melhora na continuidade das reflexões (fig.4). O *fault enhancement filter*, utilizando-se o cubo de *steering* bruto, realçou as

falhas antes pouco visíveis ou imperceptíveis com o dado original (fig.4). No entanto, gerou também alguns artefatos, como falhas e fraturas que possui baixa probabilidade de existirem podendo estar associada a ruídos do dado sísmico.



**Fig. 4** – *Inline 36* do levantamento sísmico Siririzinho mostrando o dado original (A), sem a aplicação de filtros, em (B) e (C), com a aplicação, respectivamente, dos filtros *dip-steered median filter* e *fault-enhancement filter*.

O atributo de similaridade foi aplicado no dado sísmico original e filtrado com os filtros *dip-steered median filter* e *fault enhancement filter* de forma a comparar qual promovia o melhor realce das falhas e fraturas. Com a aplicação do atributo no dado original nota-se a individualização de algumas falhas quando comparado com o dado em amplitude, no entanto falhas de menor dimensão são obscurecidas pela grande quantidade de ruído. Quando aplicado no dado com o *dip-steered median filter* observa-se uma grande melhora no realce das falhas, aparecendo traços de falhas mais nítidos e contínuos. Entretanto, o resultado adquirido com o *fault-enhancement filter* foi o mais satisfatório, pois, além de realçar as falhas e fraturas de maior dimensão, também melhorou a visualização das discontinuidades de menor escala (fig.5). Como forma de visualização, aplicou-se o dado original em amplitude sobre o dado de similaridade do *fault-enhancement filter*, podendo-se observar a perfeita correlação das falhas entre os dois dados (fig.5E).



**Fig. 5** – *Timeslice* a 192 ms do dado original em amplitude (A) do levantamento sísmico Siririzinho e aplicação do atributo de similaridade (B, C e D) mostrando a melhoria no realce dos falhamentos, primeiramente, com o dado original (B) e depois com a aplicação dos filtros de *dip-steered median filter* (C) e *fault-enhancement filter* (D). Em (E) mostrando a sobreposição do dado em amplitude sobre o atributo de similaridade proveniente do *fault-enhancement filter*.

A partir do cubo de *steering*, a curvatura gerada pelos cubos de *detailed steering* e *background steering* possui diferentes magnitudes (fig.6). Sendo realçadas feições curvas mais amplas e suaves para o caso do *background steering* (fig. 6), e curvaturas mais curtas e estreitas para o caso do *detailed steering* (fig.6). No que diz respeito ao significado geológico, as curvaturas estreitas (*detailed steering*) representam sistemas de fraturas localizados, possivelmente representando zonas de fratura abaixo da resolução sísmica, o que não quer dizer que curvaturas deste tipo não possam estar relacionadas também a falhas de grande porte, descritas também por Chopra & Marfurt (2007). As curvaturas com o *background steering* mostraram curvaturas amplas estando relacionado a flexuras mais amplas de caráter regional.

A aplicação da curvatura tanto no horizonte (fig.7) como no *timeslice* (fig.6 e 8) mostrou bons resultados, podendo identificar os *trends* de falha com direção preferencialmente NE, condizentes com a direção das estruturas regionais da Bacia Sergipe-Alagoas.

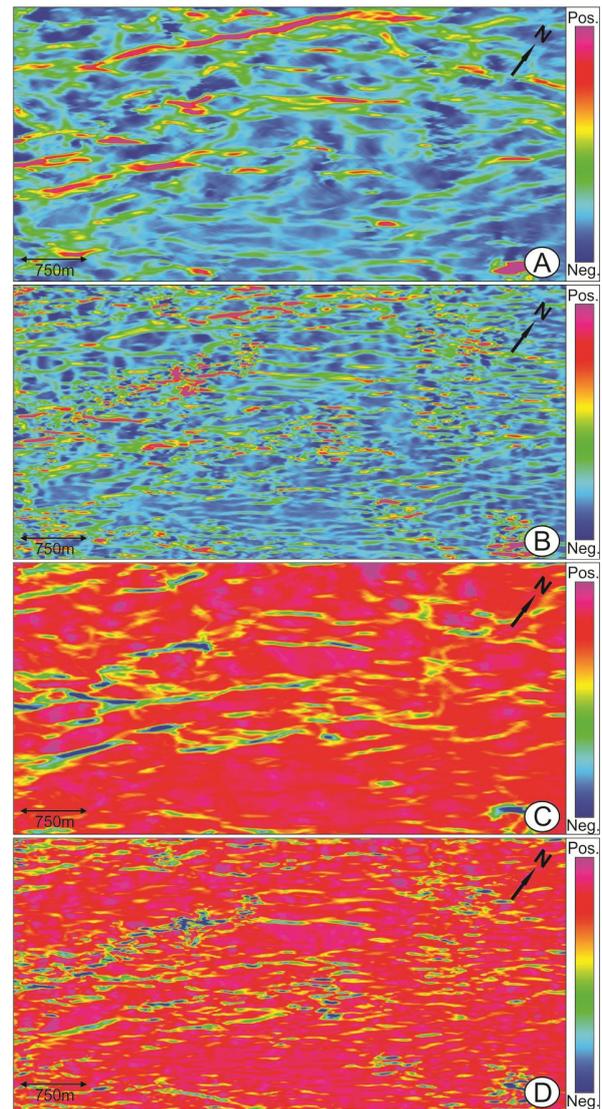
Em forma de comparação foi aplicado os atributos de curvatura sobre o atributo de similaridade do *fault-enhancement filter*, para poder visualizar a relação direta das curvaturas com as descontinuidades realçadas com a similaridade (fig.9). Esta relação mostrou perfeitamente que as curvaturas estão regidas principalmente pelas falhas e fraturas, principalmente com a curvatura criada com o cubo de *detailed steering* (fig.9).

### Conclusão

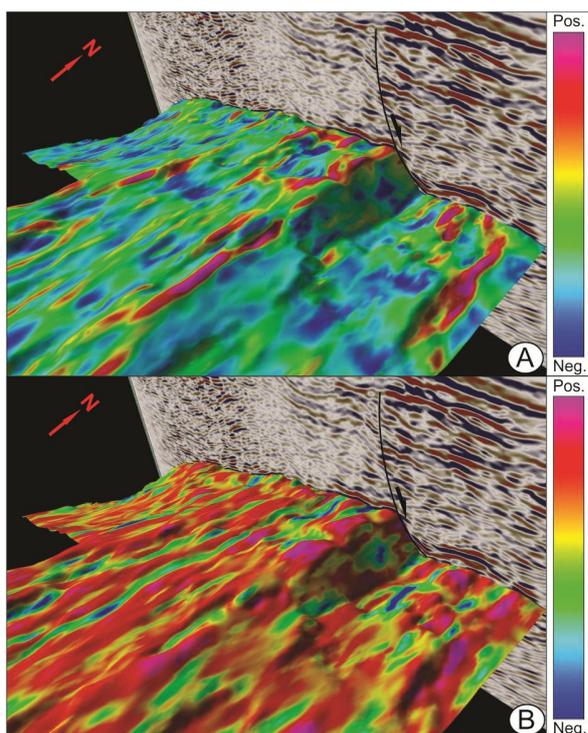
O fluxo metodológico seguido apresentou bons resultados, destacando-se a retirada dos ruídos aleatórios com a aplicação do filtro *dip-steered median filter*, o realce das falhas com o *fault-enhancement filter*, a melhoria na visualização e continuidade falhas e fraturas com os atributos de similaridade e curvatura.

A utilização dos cubos de *steering* nos atributos de curvatura mostrou um bom realce das curvaturas mais regionais e locais do dado sísmico. Podendo correlacionar as curvaturas diretamente com as descontinuidades obtidas com o atributo de similaridade.

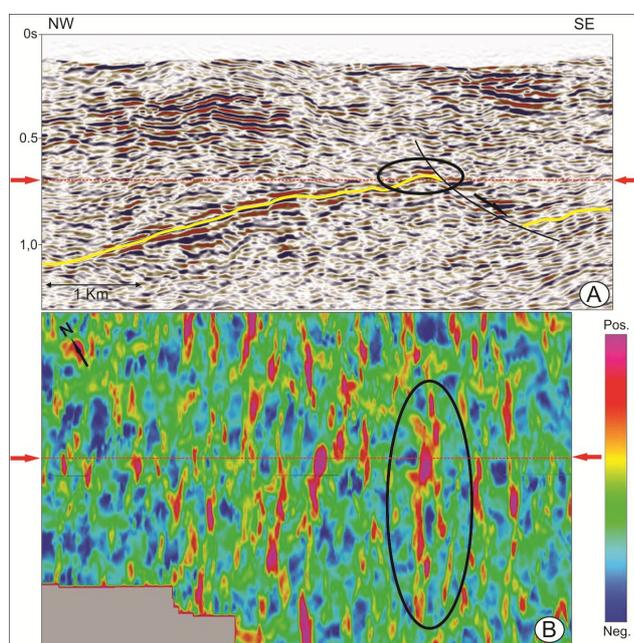
Recomenda-se, no entanto, cautela na utilização no uso do *fault-enhancement filter*, pois em alguns caso pode-se gerar artefatos, como falhas e fraturas que não existem realmente. Porém os resultados obtidos com este filtro mostraram-se excelente para o realce dos traços de falhas de maior dimensão.



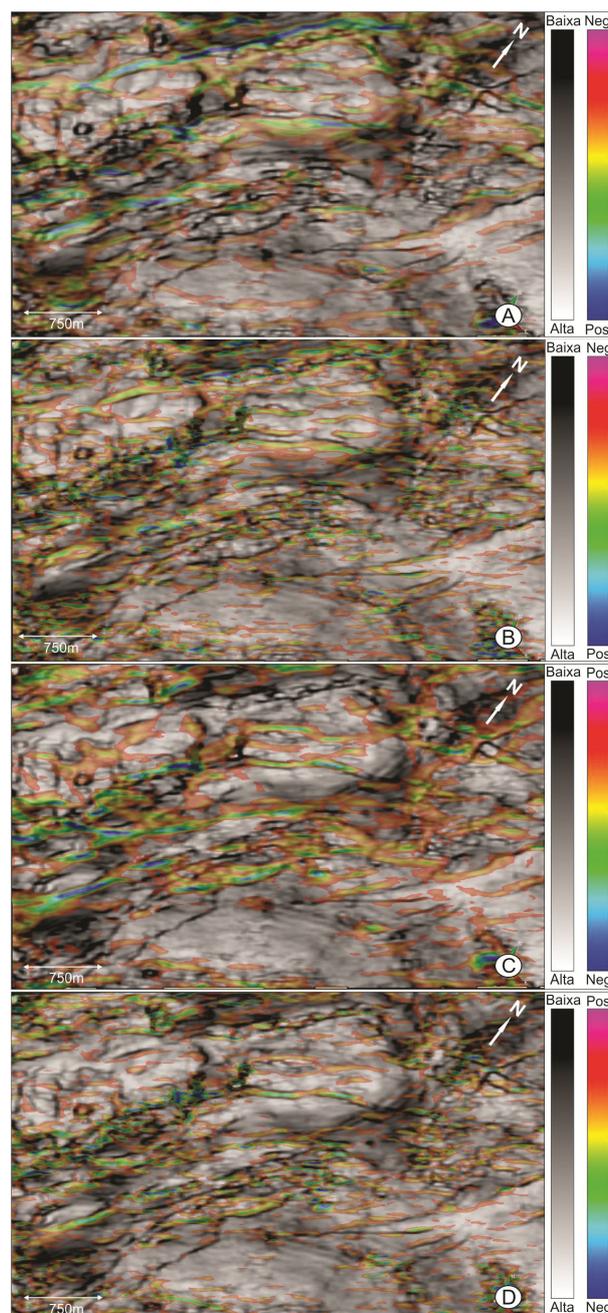
**Fig. 6** – Atributo de máxima curvatura positiva (A e B) e máxima curvatura negativa (C e D) aplicado no *timeslice* 192 ms do levantamento sísmico Siririzinho. Em A e C foi utilizado o *background steering* ressaltando as curvaturas regionais e em B e D foi utilizado o *detailed steering* que realçou curvaturas de pequeno porte.



**Fig. 7** – Horizonte correspondente ao embasamento do levantamento sísmico Carmópolis, com o atributo de mínima curvatura positiva (A) e mínima curvatura negativa (B) mostrando a relação das porções positivas em (A) bem orientadas concordando com a direção do falhamento, da mesma forma em (B) com porções negativas marcando na parte baixa da falha. *Inline 199*.



**Fig. 8** – Atributo de máxima curvatura positiva aplicado no *timeslice* 688 ms (B) do levantamento sísmico Carmópolis mostrando a perfeita relação entre a falha interpretada na *inline 199*, evidenciada pela elipse preta.



**Fig. 9** – Sobreposição do atributo de curvatura no atributo de similaridade proveniente do *fault-enhancement filter* mostrando uma excelente relação entre as curvaturas e as discontinuidades obtidas com a similaridade, principalmente em B e D, respectivamente, com os atributos máxima curvatura positiva e negativa com o cubo de *detailed steering*. As curvaturas positivas e negativas (A e C, respectivamente) que utilizaram o *background steering* mostraram uma boa relação com as discontinuidades, porém em algumas porções mostram curvaturas mais regionais. *Timeslice 192 ms*, levantamento Sirizinho.

### Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) e ao PRH-22 (Programa de Recursos Humanos em Geologia, Geofísica & Informática no Setor de Petróleo & Gás da UFRN) da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) pelo fornecimento das bolsas de pesquisa. A dGB Earth Sciences pelo fornecimento das licenças acadêmicas do *software* Opendtect.

### Referências

Bahorich, M. & Farmer, S. 1995. 3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: The coherence cube. *The Leading Edge*, p. 1053-1058.

Beheer, B.V. 2009. OpendTect dGB Plugins User Documentation (version 4.0). dGB Earth Sciences.

Chopra, S. 2001. Integrating coherence cube imaging and seismic inversion. *The Leading Edge*, 20, 354-362.

Chopra, S., Marfurt, K. J. 2007. Volumetric Curvature Attributes add value to 3D seismic data interpretation. *The Leading edge*. 26, 856-867.

Neves, F. A., Zahrani, F. S., Bremkap, S. W. 2004. Detection of potential fractures and small faults using seismic attributes. *The Leading edge*, 23, 903-906.

Roberts, A. 2001. Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons. *First Break*, 18, 85-99.

Rooij, M., Tingdahl, K. 2002. Meta-attributes - the key to multivolume, multiattribute interpretation. *The Leading Edge*, 21 (10), 1050-1053.