

## 8 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS ESTRUTURAIS E ESTRATIGRÁFICOS

### 8.1 Interpretação sísmica dos horizontes

Na figura 43 é possível distinguir quatro diferentes grupos de padrões de fácies sísmicas:

- a) Entre o Mioceno e o topo do Intra-Neocretáceo Superior, onde os refletores são praticamente horizontais, com algumas feições erosivas localizadas. Este padrão se repete também até o fundo do mar;
- b) Entre o intervalo Cenomaniano - Neoalbiano ao topo do Sal, onde os refletores mostram um padrão bastante descontínuo. Na parte basal deste intervalo, é possível ver padrões caóticos para os refletores, este padrão possivelmente já reflete um controle estrutural provavelmente devido à movimentação salífera. As falhas listricas presentes neste intervalo geram calhas sedimentares profundas, onde os refletores sísmicos se encontram em padrão divergente, indicando uma clara deposição sin-tectônica;
- c) Entre a base do sal e o embasamento (acústico), onde os refletores voltam a ser mais contínuos, porém perdendo bruscamente o sinal quando o refletor está em contato com as falhas do *rift*, e com crescimento sedimentar dentro dos grábens;
- d) Abaixo do embasamento acústico, praticamente sem refletores sísmicos, devido à falta de contrastes de impedância importantes. Simplificadamente, utilizamos o nome embasamento para se referir a um “embasamento acústico”, pois este intervalo na verdade não pode ser distinguido entre derrames de basalto da Formação Cabiúnas e o embasamento cristalino pré-cambriano.

Através do mapeamento em detalhe, com o dado sísmico em 3D, três importantes horizontes foram selecionados:

- a) **Embasamento:** Devido à boa qualidade do refletor sísmico para a interpretação do horizonte da base da Fm Coqueiros (base do Aptiano), e também por representar bem o padrão estrutural de falhas do rift, considera-se neste trabalho, que o horizonte da base da Fm Coqueiros reflete a mesma geometria do “embasamento acústico” (Figura 44A). Estas geometrias mostram importantes feições topográficas como altos e baixos internos. O principal alto interno da área é o Alto de Linguado, com uma geometria que apresenta uma forte convexidade, mudando a direção de N-S na parte norte, para uma direção NESW na parte sul. Outro alto interno na área é o Alto de Pampo, representando um horst de direção predominantemente NE-SW, e que tem seu limite leste marcado bruscamente por falhas N-S de alto rejeito.
- b) **Base do Sal:** Devido ao limite da resolução sísmica e a baixa espessura de sal identificada pelos poços (na maior parte variando entre 0 a 30 metros), e ao contraste de impedância entre a camada de anidrita com as litologias mais porosas do Grupo Lagoa Feia, foi possível apenas identificar um refletor que marca a base do Sal. Este mapeamento foi feito com uma boa quantidade de poços e uma boa distribuição areal, ajustando com bastante precisão a base do sal na sísmica. O mapa da base do sal (Figura 44B) mostra uma topografia mais suave na parte noroeste, porém quando chega próximo dos limites leste dos altos do embasamento de Linguado e Pampo, existe uma queda mais brusca na topografia, com uma redução de cota em um patamar de cerca de 200 metros. Essa redução reflete o relevo estrutural do embasamento, seguindo um mesmo padrão geométrico herdado com degraus.
- c) **Topo do Cenomaniano – Nealbiano:** Como pode ser visto na seção sísmica na figura 43, existe um forte refletor sísmico de anomalia positiva (cor em preto na sísmica) que marca muito bem a entrada na plataforma carbonática (Fm Outeiro), resultado do contraste de impedância entre as rochas siliciclásticas do Grupo Campos com as carbonáticas do Grupo Macaé. Sobre o campo de Linguado o horizonte tem a forma um domo (antiformal) (Figura 44C), com mergulho suave, limitado por grabens e feições erosivas. Na área de Pampo outro domo de menor porte, foi formado, que parece ter sido separado da estrutura de linguado, pela grande falha lítrica de direção NNW-SSE, estendendo-se até o limite a norte da área. Na área a nordeste, dois pequenos

domos (área de Trilha), parecem ter sido separados pela mesma falha que separou Pampo. Na parte norte da área (área de Badejo) a topografia está mais suavizada, e nenhum domo importante é destacado.

Destacando muito bem a área, e separando as áreas de linguado e Badejo, uma grande feição erosiva de direção aproximadamente Leste-Oeste, chega a erodir em alguns trechos a plataforma carbonática em até 200 metros, sendo que outros fluxos erosivos na parte sudoeste da área, dissecaram a área aproveitando baixos topográficos, que parecem ter sido gerados por grábens. Na parte sudeste, pela feição brusca de mudança de cota do horizonte, uma borda da plataforma carbonática sugere já uma mudança para um ambiente de talude superior.

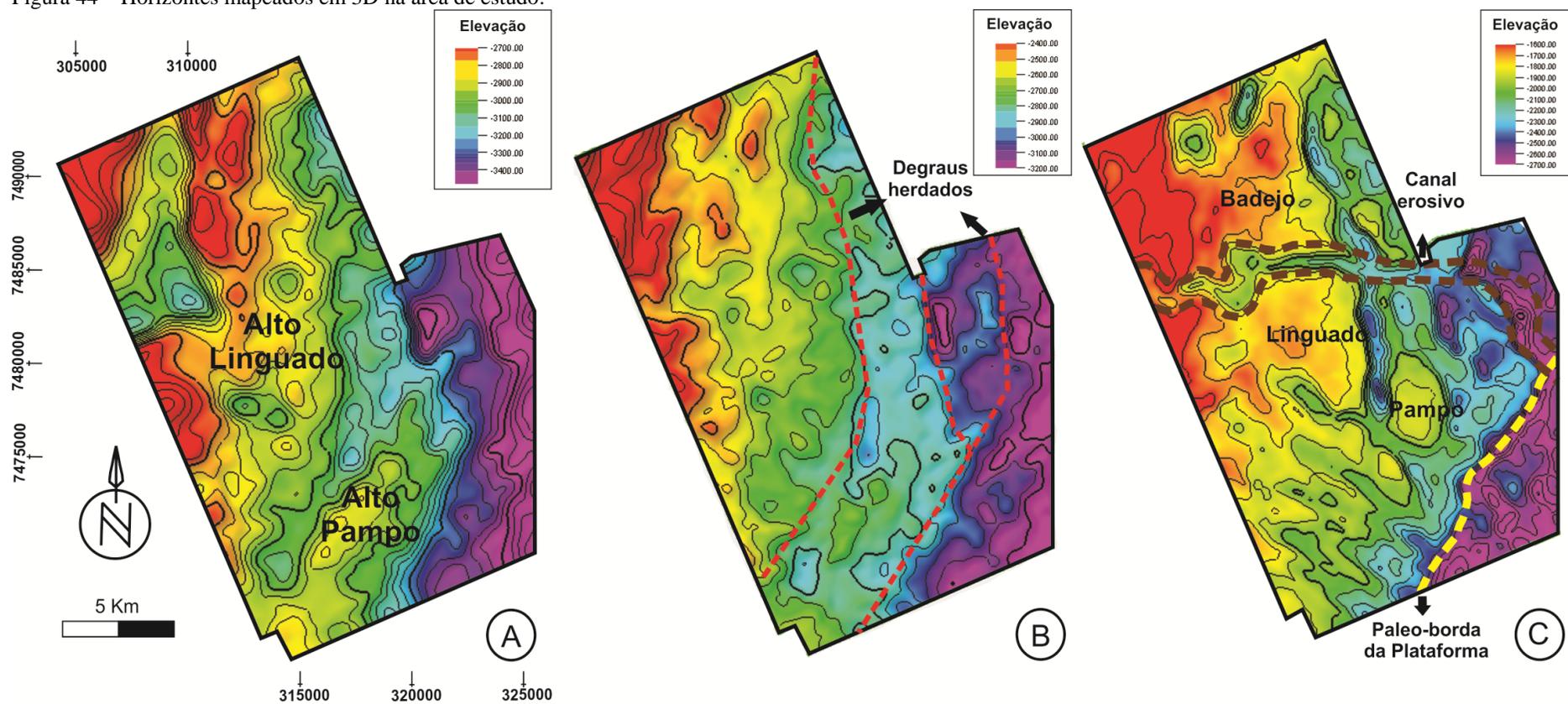
## 8.2 Atributos Sísmicos

A análise dos atributos sísmicos é normalmente usada para se mapear em subsuperfície feições geométricas e estratigráficas (Bacon *et al.* 2003). Neste trabalho ela permitiu identificar os principais lineamentos, posicionando melhor as falhas durante o mapeamento, e realçando até mesmo as falhas de menor porte. Por esta razão, após o mapeamento dos horizontes, vários atributos foram testados, como atributos de curvatura, amplitude, *variance*, *dip* sísmico e azimute sísmico. Esses atributos envolvem algoritmos numéricos que realçaram lineamentos estruturais (Barnes, 1992, Marfurt, 2006; Chopra & Marfurt, 2007; Zeng *et al.*, 2010). Outro importante atributo retirado, foi a técnica TECVA que representa um tipo de processamento sísmico que tem o potencial de mostrar pequenas flutuações que, pela correlação lateral traço a traço, podem revelar características tais como falhas e canais (Bulhões & Amorim, 2005),

Embora os atributos de curvatura e azimute sísmicos tenham dado bons resultados, os atributos de *variance*, *dip* e TECVA foram mais consistentes para realçar as falhas e para suportar a definição dos principais elementos estruturais. O atributo de amplitude foi o de menor resultado por apresentar uma resolução menor.

Portanto, os mapas de atributos de *dip* e *variance* e a seção em TECVA, foram usados para controlar sistematicamente o trabalho de mapeamento e a correlação com as falhas interpretadas na seção sísmica. Abaixo segue uma breve descrição conceitual sobre os três atributos utilizados, seguido do resultado final dessa etapa.

Figura 44 – Horizontes mapeados em 3D na área de estudo.

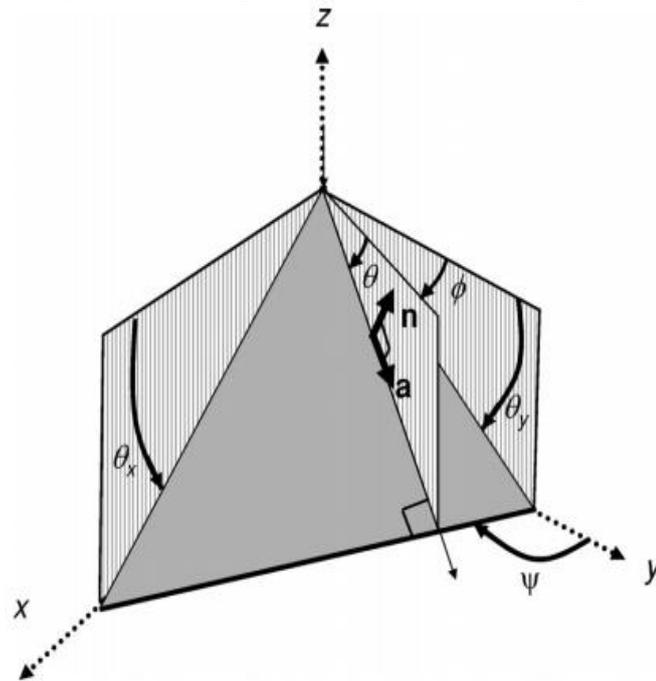


Legenda: Horizontes: A) base do Aptiano. B) base do Sal (Fm Retiro). C) topo do Cenomaniano - Nealbiano (Fm Outeiro)  
 Fonte: O autor, 2017

### 8.2.1 *Dip e Azimute*

De acordo com Marfurt (2006) “Um elemento planar de um refletor sísmico pode ser definido unicamente por um ponto no espaço,  $\mathbf{X} = x, y, z$ , e uma unidade normal a superfície  $n = n_x, n_y, n_z$ , onde  $n_x, n_y$ , e  $n_z$  são as componentes ao longo dos eixos  $-x -y$  e  $-z$ ” (Figura 45). Podemos identificar no plano, os mergulhos aparentes,  $\Theta_x$  e  $\Theta_y$  que são medidos respectivamente os ângulos entre o plano vertical  $xz$  e  $xy$  com o plano horizontal ( $xy$ ). Estes mergulhos aparentes correspondem a projeção do mergulho verdadeiro  $\Theta$  e o vetor  $a$ . O *Strike* ou Azimute ( $\psi$ ) do plano corresponde ao ângulo entre o norte ou eixo  $Y$  e a interseção entre a projeção do vetor ( $a$ ) no plano  $xy$  horizontal. A obtenção do mergulho e do *strike* do plano podem ser extraídas também a partir das fórmulas ilustradas na Equação 2. (Marfurt, 2006)

Figura 45. Estrutura planar representada no espaço tridimensional e suas componentes.



Legenda: O azimute ( $\psi$ ), o strike ( $\psi$ ), o mergulho efetivo ( $\Theta$ ) e os mergulhos aparentes ( $\Theta_x$  e  $\Theta_y$ )  
 Fonte: Marfurt (2006).

Equação 2. Formulas usadas para o cálculo dos mergulhos aparentes

$$a_x = \cos \Theta \cos \psi \quad (2A)$$

$$a_y = \cos \Theta \sin \psi \quad (2B)$$

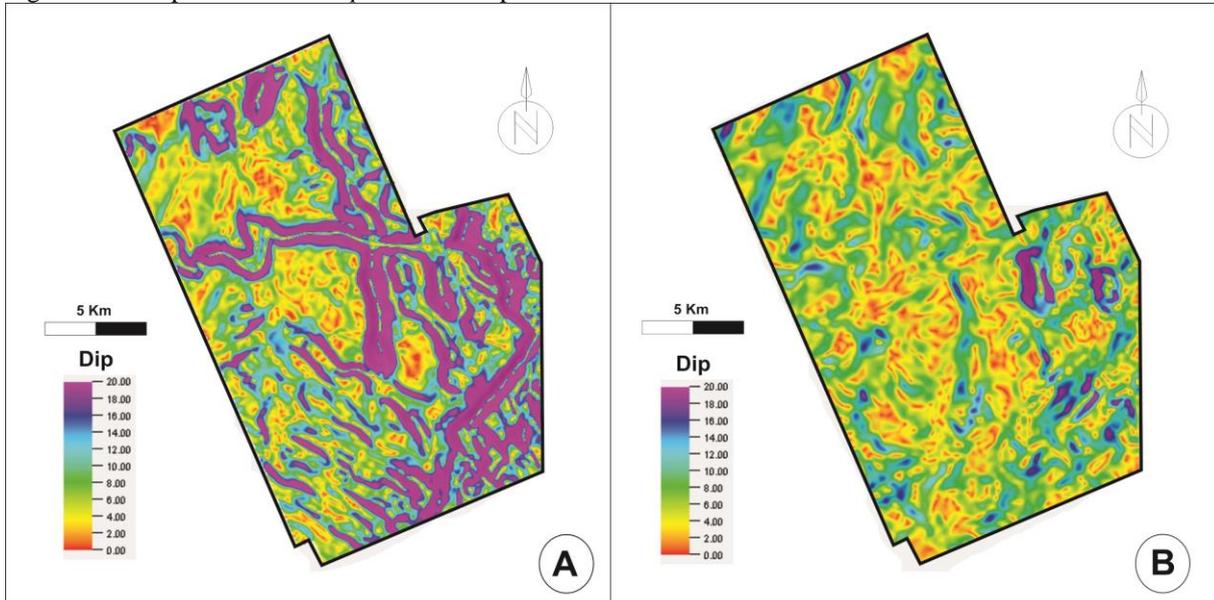
$$a_z = \sin \Theta \quad (2C)$$

Fonte: Marfurt (2006)

Os atributos de *dip* e azimute podem ser calculados tanto na superfície (Figura 46), ou calculados a partir de volumes de atributo sísmico de *dip* e azimute e computada nos

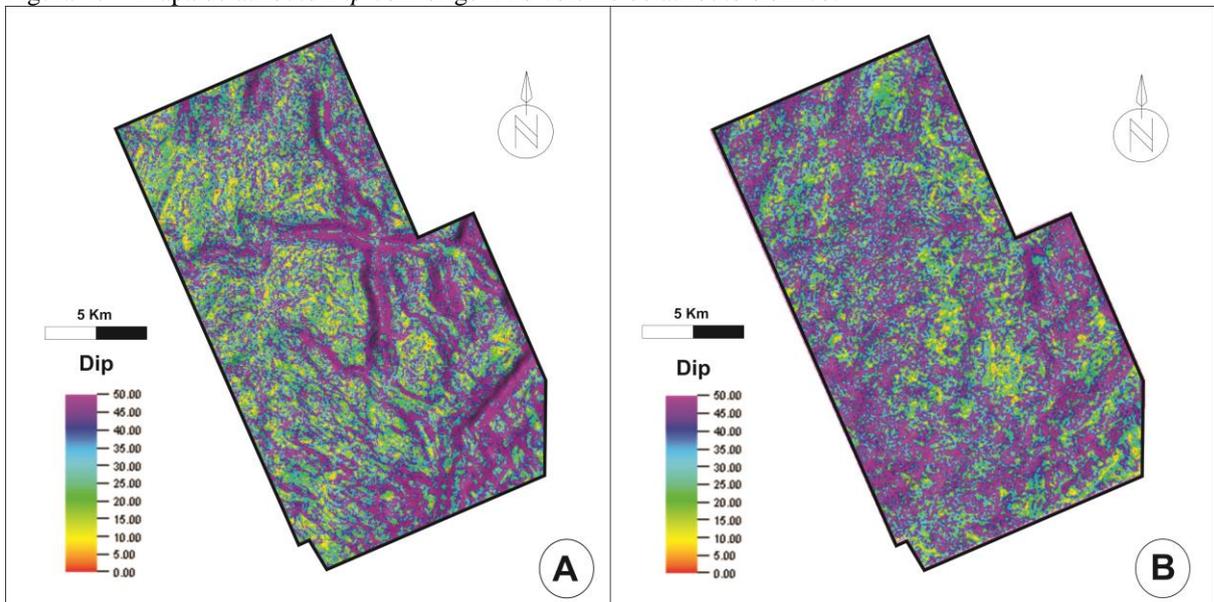
horizontes (Figura 47). Os resultados mostram que os dois diferentes métodos apresentam semelhantes tipos de padrões das estruturas na área estudada

Figura 46 – Mapa de atributo *Dip* calculado a partir dos horizontes.



Legenda: A) topo da Fm Outeiro (B) base do Sal  
Fonte: O autor, 2017

Figura 47 – Mapa de atributo *Dip* com origem no volume de atributo sísmico.

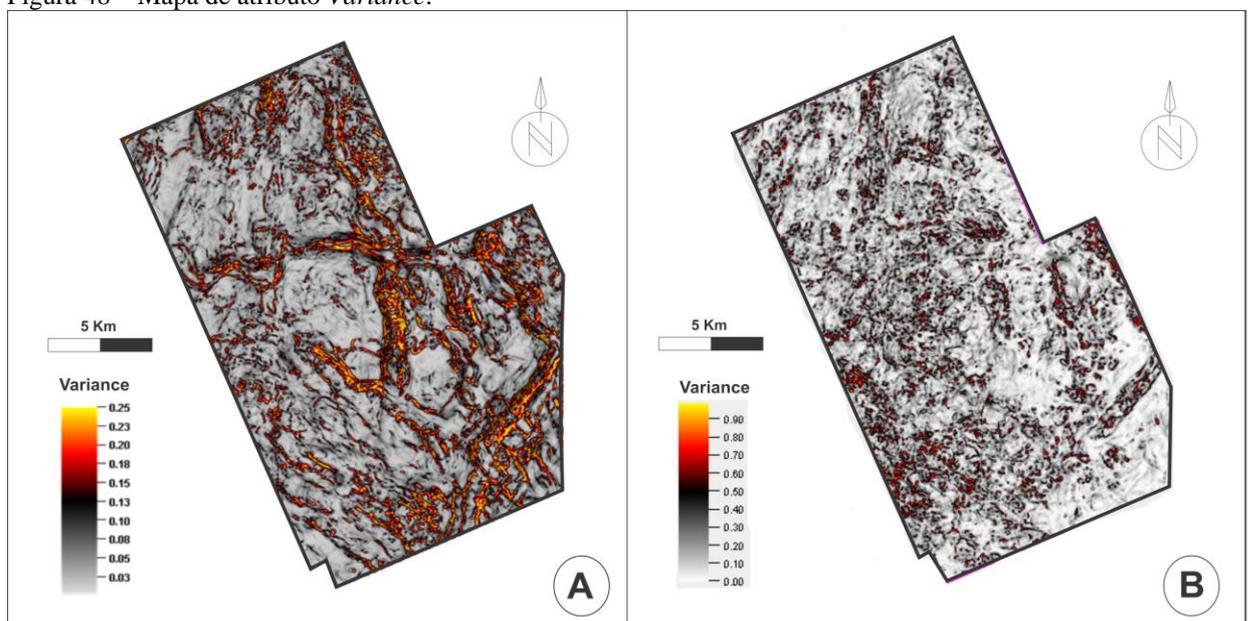


Legenda: A) topo da Fm Outeiro (B) base do Sal  
Fonte: O autor, 2017

### 8.2.2 Variance

*Variance* ou *Edge Evidence* é um método estatístico extraído a partir de um cubo sísmico, em amplitude, para melhorar bordas como falhas e bordas de corpo de sal. Basicamente este atributo procura localmente em todas as direções para cada segmentos de linha onde os valores na linha diferem significativamente dos valores circundantes. O resultado do método é a melhor evidência de uma linha que passa por esse ponto (Figura 48).

Figura 48 – Mapa de atributo *Variance*.



Legenda: A) topo da Fm Outeiro (B) base do Sal

Fonte: O autor, 2017

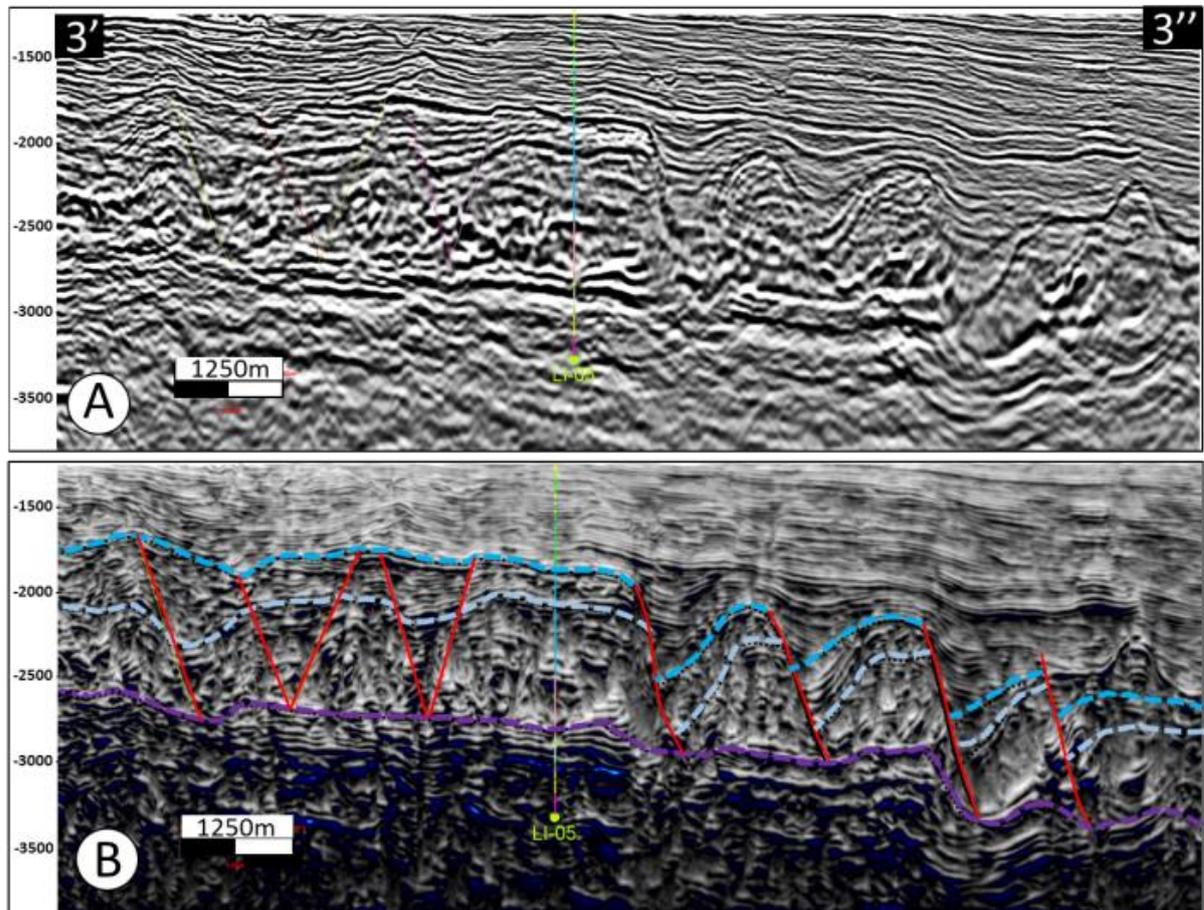
### 8.2.3 TECVA

O Processamento chamado de Técnica de volume de amplitudes (TECVA) é um tipo de processamento sísmico desenvolvido internamente pela Petrobrás. De acordo com os autores Bulhões & Amorim (2005): “A técnica VA (TECVA) consiste na extração do envelope do traço sísmico (fase zero) a partir de um dado sísmico em amplitude, e pressupõe-se que toda reflexão sísmica positiva ou negativa tem significado geológico e representam interfaces entre camadas” (Figura 49A).

As informações obtidas com a técnica VA compreendem, a um só tempo, dados sobre a amplitude e sobre as flutuações na frequência portadora fundamental (amplitude, frequência e fase moduladas). Assim, essa técnica tem o potencial de mostrar pequenas flutuações que,

pela correlação lateral traço a traço, podem revelar características tais como falhas, canais etc. (Figura 49B).

Figura 49 – Exemplo de secção sísmica na área em amplitude e após o TECVA.

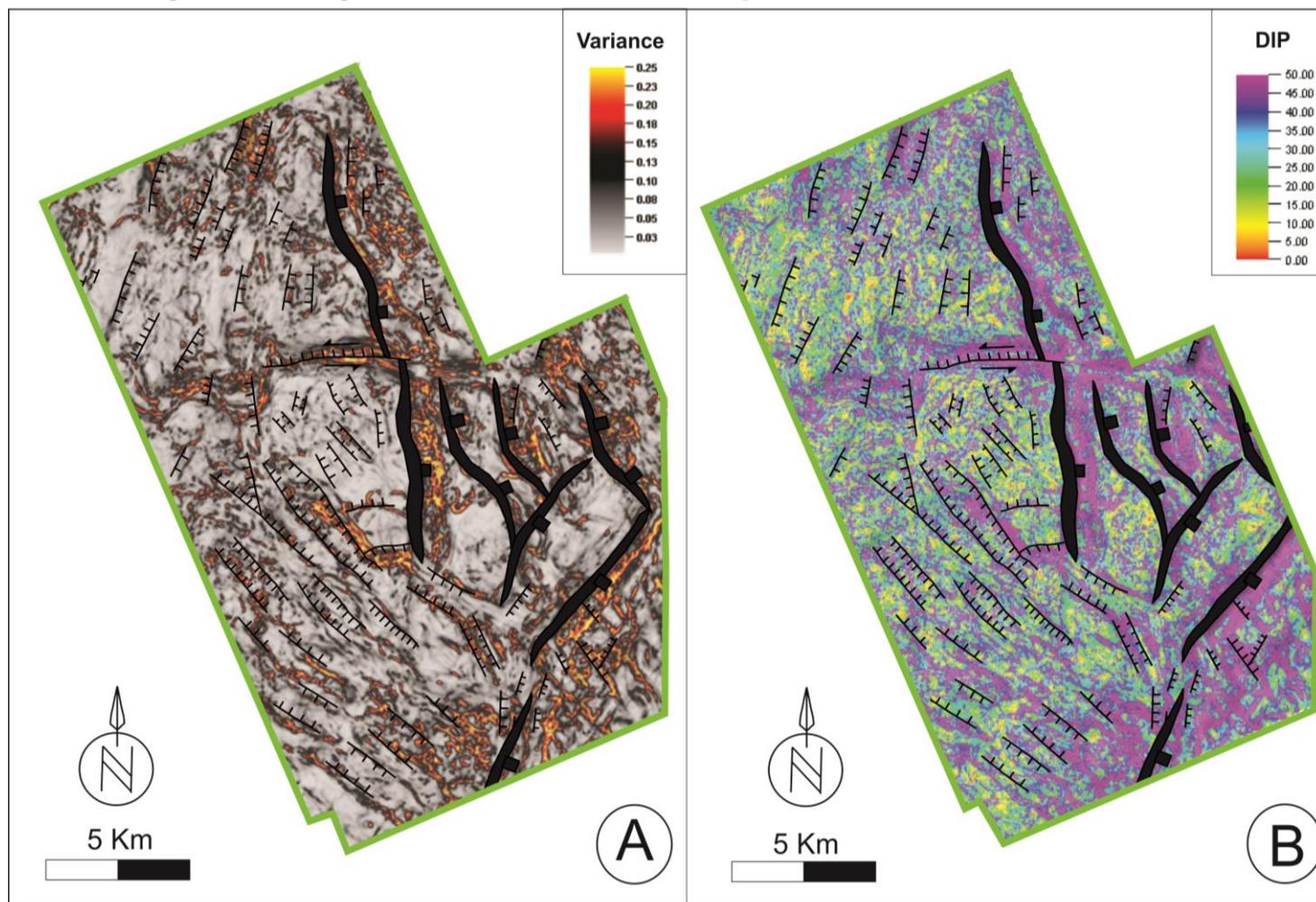


Legenda: A) Exemplo de secção sísmica na área em amplitude. B) e a mesma secção após o TECVA. Na cor vermelha as falhas, em azul escuro o horizonte de topo do Cenomaniano-Neoalbiano, em azul claro o topo do Eoalbiano e em roxo a base do sal. Nota. Vide figura 41 para localização.

Fonte: O autor, 2017

Analisando aos padrões de lineamentos com as falhas mapeadas, vistas nos mapas de atributos *Variance* (Figura 50A) e *Dip* (Figura 50B), pode-se perceber dois tipos de segmentação, um representando falhas mais curvadas, e com maiores rejeitos, e outras com padrão retilíneo e mais segmentadas e em algumas partes formando sistemas de horst e grábens. Esta diferenciação mostra diferentes níveis de evolução da tectônica raft na área e vai ser tratada nos próximos capítulos.

Figura 50 – Mapa de falhas das sequencias de idade pós-sal com os atributos de *Variance* e *Dip*.



Legenda: atributos de *Variance* (A) e *Dip* (B) calculados no horizonte de topo da Fm Outeiro.  
Fonte: O autor, 2017