

Integração preliminar de Sensoriamento Remoto e de Dados Sísmicos 3D para o reconhecimento Estrutural em Bacias Sedimentares.

Renata dos Santos Alvarenga ¹
Juliano Kuchle ¹
Claiton Marlon dos Santos Scherer ¹
Luís Castillo Lopez ¹

¹ Universidade Federal do RS – UFRGS – Instituto de Geociências
Av. Bento Gonçalves, 9500 – 91509900 – Porto Alegre – RS, Brasil
renatalvarenga@yahoo.com.br
julianokuchle@yahoo.com.br
claiton.scherer@ufrgs.br
lcastillol@yahoo.com.br

Abstract. The remote sensing applied to geology has fundamental importance to identification of structures, geological boundaries and lithology differentiation. The study area is located at the central compartment of the Recôncavo Basin (Bahia State, Brazil), an cretaceous aborted rift basin. The study was focused on integrated analysis of lineaments interpreted from digital terrain models, and faults mapped on 3D seismic reflection data. The low resolution of the seismic data does not sustain the structural mapping, due to the difficulty of visualization of the trace faults. Therefore, the SRTM digital terrain models were used to supply the interpretation of tectonic lineaments, developed from several frames with different directional filters, geostatistical analysis and frequency cell maps. Those terrain analysis data constraints the seismic fault mapping, facilitating the observation of the structures. The terrain analysis and seismic interpretation integrative method shown innovative results on the structural analysis of sedimentary basins to petroleum exploration.

Palavras-chave: remote sensing, digital terrain model, seismic, sensoriamento remoto, modelo digital de terreno, sísmica.

1. Introdução

Nas últimas décadas, ferramentas tais como a sísmica 3D e o sensoriamento remoto (SR), vêm possibilitando uma interpretação mais precisa da evolução geológica de uma bacia sedimentar. Neste contexto, a integração de dados obtidos no mapeamento de seções sísmicas com os produtos gerados no sensoriamento remoto, como os modelos digitais de terreno (MDT) por radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), possibilita uma interpretação muito mais consistente do que utilizando apenas uma destas ferramentas.

A visualização de estruturas em seções sísmicas, assim como a identificação de feições estruturais em imagens de sensoriamento remoto é dependente dos dados e da resolução utilizada. Em decorrência disso, é preciso trabalhar com as ferramentas individualmente, identificando feições tectônicas nas seções sísmicas e nas imagens para uma posterior correlação.

Através do uso do modelo digital de terreno é possível inferir que o reflexo superficial de uma falha pode ser dada na forma de um lineamento, ou em uma concentração, pois esta concentração de lineamentos pode ser o reflexo do campo tensional atuante. Através de tratamentos geostatísticos específicos, é possível mapear e caracterizar com uma melhor precisão e qualidade destas concentrações de lineamentos.

1.1 Objetivos

Em bacias sedimentares, a utilização integrada de dados de sensoriamento remoto e de sísmica permite a obtenção de resultados indispensáveis para a investigação e elaboração de um modelo estrutural. Porém, na área de estudo, a baixa qualidade dos dados sísmicos dificulta o mapeamento das falhas, e com a utilização dos dados de sensoriamento remoto, permitiu um suporte mais sustentável na observação das falhas em dados sísmicos de subsuperfície. No entanto, metodologias que utilizem o modelo digital de terreno para dar uma sustentabilidade aos dados sísmicos não são observados na bibliografia. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia da correlação do sensoriamento remoto com a sísmica.

A partir da utilização dos dados de Modelo Digital de Terreno, pretende-se visualizar e demarcar os lineamentos observados em superfície possibilitando um mapeamento destas feições estruturais para a geração de um mapa de lineamentos que seriam o reflexo da superfície.

Com a geração dos grandes padrões de lineamentos mapeados através do Modelo Digital de Terreno, permitirá a integração e correlação desses dados com as possíveis falhas visualizadas nas seções sísmicas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo e Contexto geológico

A área de estudo está localizada no compartimento central da Bacia do Recôncavo, Bahia – Brasil. A área abrangente é de 2000K^m² e atualmente produtora de gás (**Figura 1**).

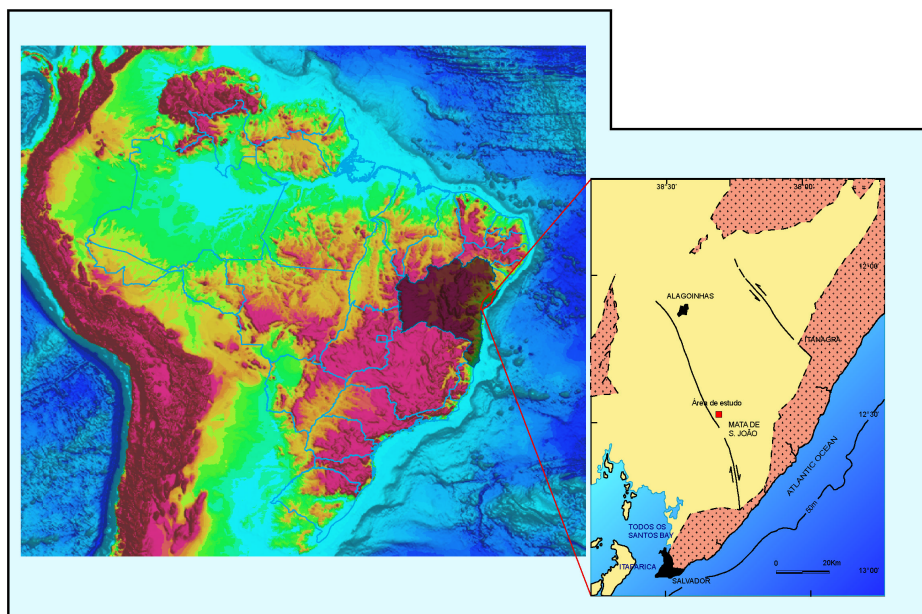


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Recôncavo - Bahia, Brasil, com a área de estudo demarcada pelo polígono vermelho.

A Bacia do Recôncavo é uma Bacia do tipo rifte intracontinental abortado, sendo gerado inicialmente durante os estágios precoces da abertura do Oceano Atlântico Sul, e preservado como um ramo abortado da margem Leste do Brasil, durante o Eocretáceo.

A Bacia do Recôncavo é composta por uma fase Pré-Rifte que consistiu em depósitos aluviais do Grupo Brotas, representados por folhelhos avermelhados e arenitos da Formação

Aliança, sotopostos a arenitos fluviais e eólicos da Formação Sergi. Na fase Sin-Rifte (rifte ativo) é constituído por conglomerados da Formação Salvador (sintectônicos) e folhelhos escuros da Formação Candeias e Formação Maracangalha. Na fase Pós-Rifte é constituído por depósitos aluviais e conglomerados, arenitos e ocasionais folhelhos e calcários da Formação Marizal que são pouco expressivos, Cupertino e Bueno, (2005). (**Figura 2**)

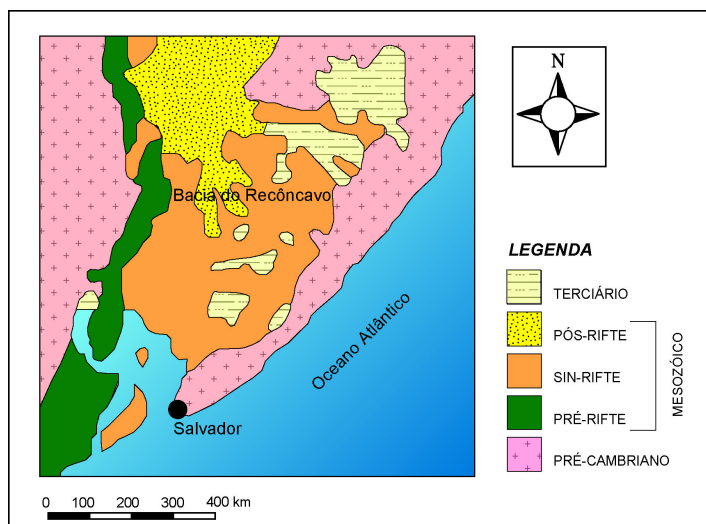


Figura 2. Mapa geológico esquemático, mostrando a distribuição de sedimentos pré-, sin- e pós-rifte, modificado de Magnavita, (1992)

2.2 Modelo Digital de Terreno

Para desenvolver um Modelo Digital de Terreno (MDT) da superfície terrestre, através da utilização de radares interferométricos a bordo do ônibus espacial Endeavor, surgiu o projeto em conjunto entre a NIMA (National Imagery Mapping Agency) e a NASA (National Aeronautics and Space Administration).

A missão, identificada com a sigla SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) teve como o objetivo principal de produzir dados digitais da topografia de 80% da superfície terrestre (área contida entre as latitudes 60°N e 56°S), sendo coletados a cada 1 arco de segundo (aproximadamente 90 m) numa grade de latitude/longitude.

Para a produção dos dados da topografia utilizou-se a técnica de interferometria por radar, no qual são geradas duas imagens de radar de duas posições ligeiramente diferentes. Estas imagens são obtidas pelo uso de duas antenas de radar, uma acoplada no ônibus espacial e outra no final de um mastro de 60m preso ao ônibus espacial, resultando em dados de altimetria com resolução de 16m com intervalo de confiança de 95%. As diferenças entre essas duas imagens permitem calcular a elevação da superfície ou a diferença.

A definição de um Modelo Digital de Terreno (MDT), é dada pelo armazenamento digital das coordenadas xyz da superfície terrestre em uma matriz linear. Para a utilização no presente estudo, estes dados foram convertidos para o sistema de coordenadas UTM (SAD-69, Faixa -24), e re-gridados para o intervalo de 50 metros.

2.3 Dados Sísmicos 3D

Os dados sísmicos, originados na década de 30 do século XX, são atualmente de fundamental importância para a exploração de petróleo, fornecendo informações estratigráficas e estruturais sobre as bacias sedimentares. Na década de 80, iniciou-se uma nova maneira de aquisição de dados sísmicos: a sísmica 3D, onde não mais era feito um levantamento bidimensional com alinhamento de fontes e receptores, e sim um levantamento em uma

malha, fornecendo assim um dado sísmico tridimensional, considerado atualmente detalhado e que possibilitou um importante incremento na visualização de estruturas e no mapeamento tridimensional das bacias sedimentares.

2.4. Integração de Métodos

Para o reconhecimento e mapeamento das feições estruturais, utilizou-se em superfície o Modelo Digital de Terreno e em subsuperfície dados sísmicos 3D.

Na utilização do Modelo Digital de Terreno, aplicaram-se filtros de iluminação direcional permitindo evidenciar os lineamentos nas direções nordeste, noroeste, norte-sul, leste-oeste, possibilitando o realce destes lineamentos. Com esta técnica, geraram-se os mapas de sombra de relevo no qual foram traçados os lineamentos em superfície, e após a geração do diagrama de rosetas que identifica a direção dos lineamentos predominante da área em estudo.

A partir da geração dos mapas de frequência de lineamentos com células de 500 e de 1000 metros, foram quantificados os lineamentos nestas subáreas, visualizando os principais *trends* de lineamentos e correlacionando-os com as seções sísmicas.

No mapeamento de feições estruturais a partir dos dados das seções sísmicas obteve-se uma visualização regional das estruturas e a partir da identificação das terminações dos refletores e com a utilização dos conjuntos de lineamentos adquiridos pelo Modelo Digital de Terreno, demarcaram-se as estruturas como as falhas.

3. Resultados

A partir dos dados de Modelo digital de Terreno obteve-se 974 lineamentos demarcados com tamanho médio de aproximadamente 575 metros e como principais direções, nordeste, noroeste, norte-sul e leste-oeste, (**Figura 3**).

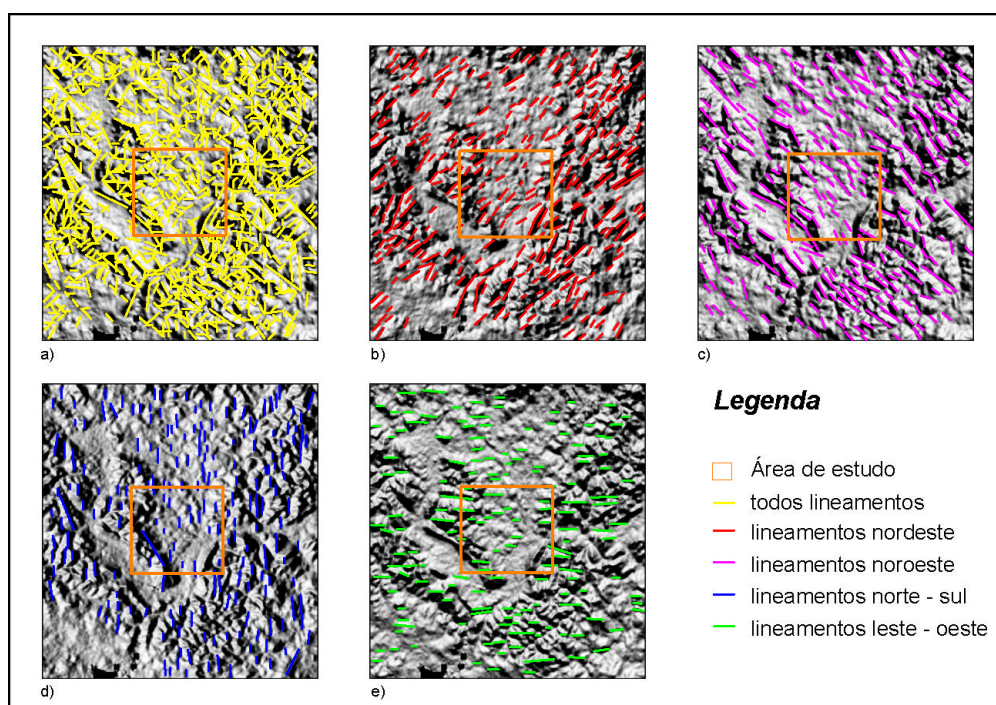


Figura 3. Mapa de sombra de relevo realçado por filtro de iluminação direcional. a) Todos os lineamentos demarcados; b) lineamentos nordeste; c) lineamentos noroeste; d) lineamentos norte-sul e e) leste-oeste.

Os lineamentos nordeste apresentam a direção de maior quantidade sendo que representam 33% do total dos lineamentos demarcados e os lineamentos noroeste com 30%.

Os lineamentos norte-sul representam 21%, e os leste-oeste com 16%, apresentando contribuição secundária no campo de Jacuípe, **Figura 4**.

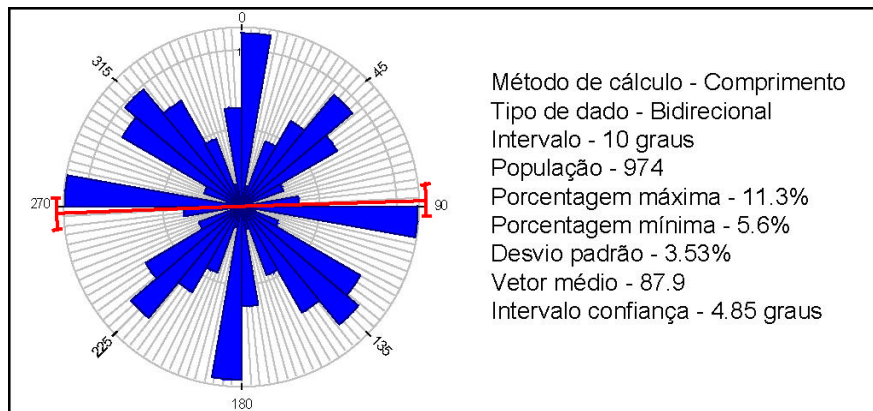


Figura 4. Diagrama de rosetas dos lineamentos traçados.

Com a utilização dos dados de frequência foram gerados mapas de células com área de 1000 X 1000m e de 500 X 500m.

Os mapas com área de 1000 X 1000m obtiveram concentrações de até 13 lineamentos nas subáreas, sendo que, na área de estudo obteve-se concentrações de até 10 lineamentos por subárea com predomínio de 7 lineamentos por subáreas, (**Figura 5**).

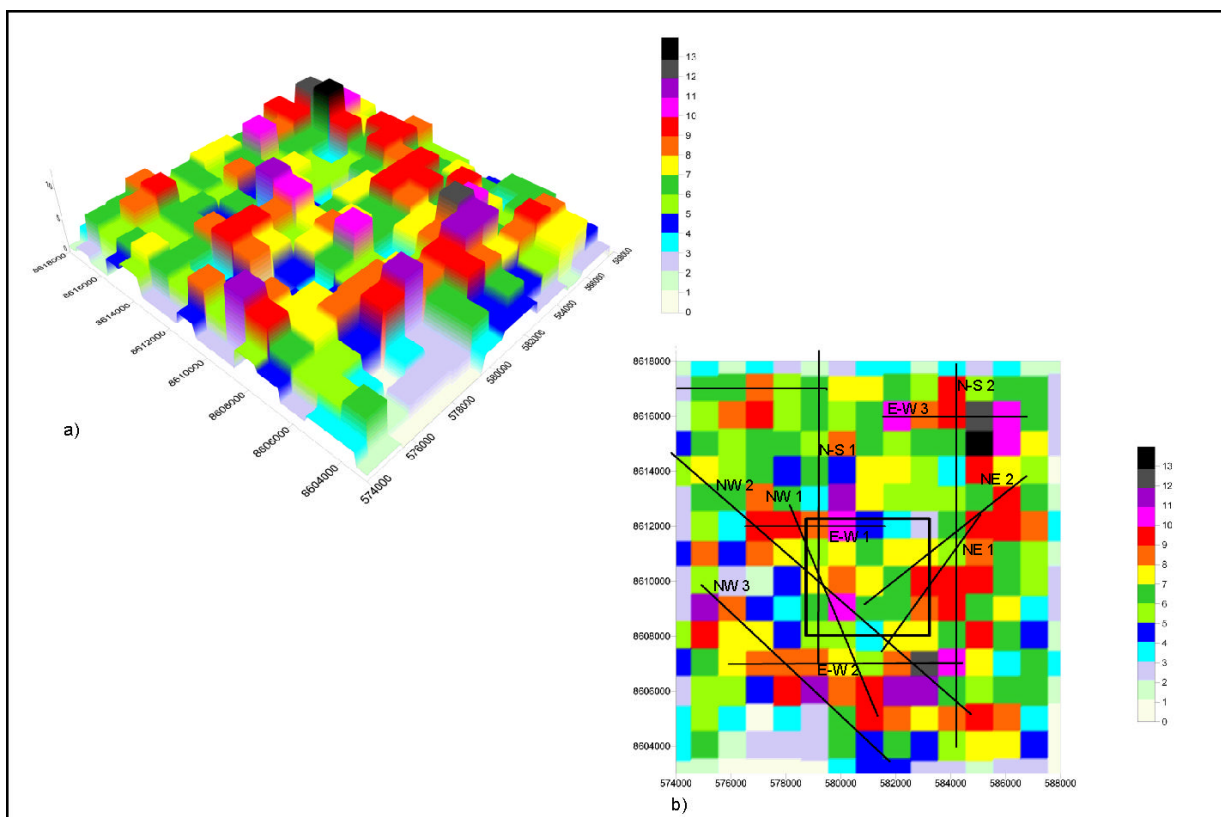


Figura 5. Mapa de células com área de 1000 X 1000m , apresentando a quantidade de lineamentos. a) Vista tridimensional diagonal e b) Vista superior em planta evidenciando os principais trends de concentração de lineamentos demarcados em preto e a área do campo de Jacuípe representado pelo polígono preto.

Na direção nordeste observou-se dois *trends* de concentrações de lineamentos principais. O primeiro *trend*, que possui alto ângulo limita o campo de Jacuípe, na porção sudoeste. O segundo *trend* está localizado na área limitada pela área de estudo se estendendo com menor ângulo para as áreas adjacentes.

Na direção noroeste observam-se três *trends* principais, dois deste são bastante representativos na área de estudo estando localizados na porção leste, sendo que um apresenta mais alto ângulo do que o outro.

Na direção norte-sul observou-se dois *trends* de concentração de lineamentos principais, sendo que um deles está na porção leste adjacente à área de estudo e o outro contribuindo diretamente, cortando a área de estudo na porção oeste.

Na direção leste-oeste três *trends* de concentração de lineamentos foram observados, mas somente um deles está na área de estudo localizado na porção norte.

Os mapas com área de 500 X 500m obtiveram concentrações de até 8 lineamentos nas subáreas, sendo que, na área de estudo obteve-se concentrações de até 5 lineamentos por subárea com predomínio de 4 lineamentos por subáreas, (**Figura 6**).

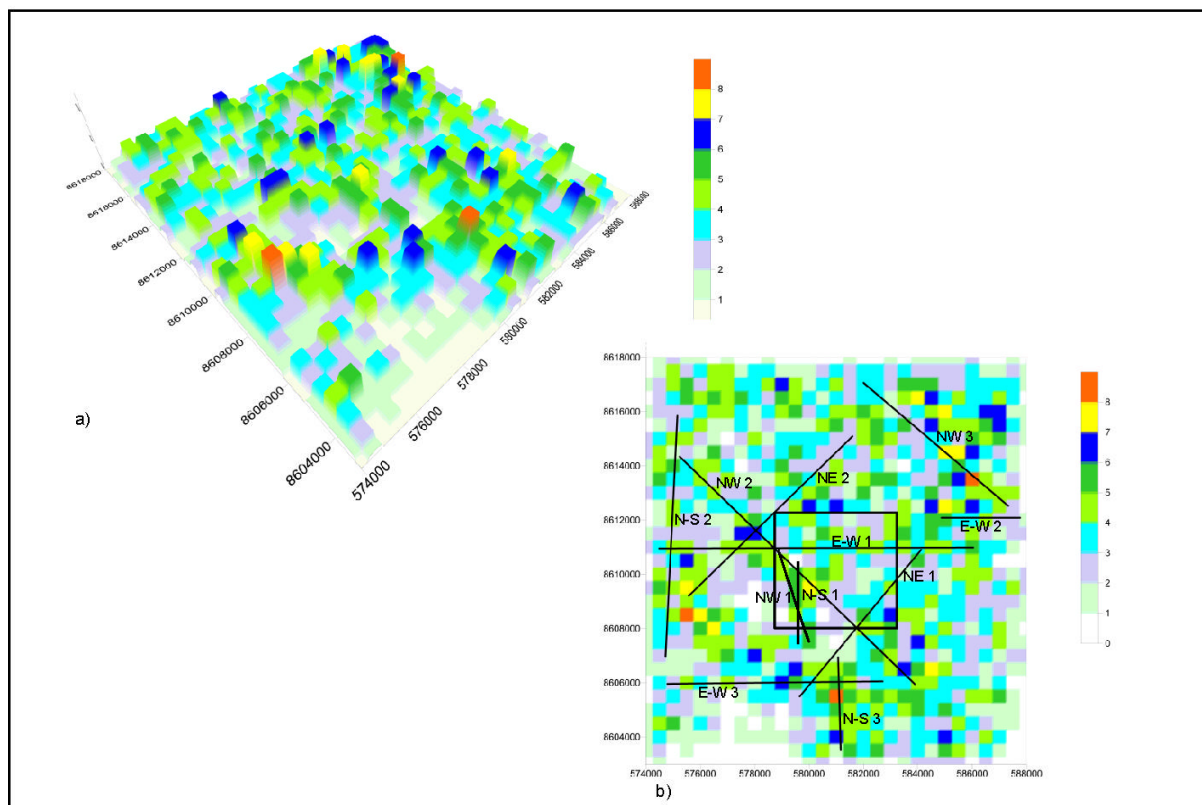


Figura 6. Mapa de células com área de 500 X 500m, apresentando a quantidade de lineamentos. a) Vista tridimensional diagonal e b) Vista superior em planta evidenciando os principais trends de concentração de lineamentos demarcados em preto e a área do campo de Jacuípe representado pelo polígono preto.

Na direção nordeste observou-se dois *trends* de concentrações de lineamentos principais. Assim, como identificado um *trend* que possui alto ângulo que limita a área de estudo, na porção sudoeste no mapa de células de malha 1000 X 1000, também se observou para a malha de 500 X 500, mas, porém com a área limitante mais precisa abrangendo toda borda sudoeste da área. O segundo *trend* está localizado na borda noroeste a cima da área de estudo.

Na direção noroeste observam-se três *trends* principais, dois deles cobrem a área de estudo na porção oeste, sendo que um deles possui alto ângulo e está sendo cortado pelo o outro *trend* de mais baixo ângulo. O terceiro *trend* está localizado na porção nordeste adjacente da área.

Na direção norte-sul observou-se três *trends* de concentração de lineamentos principais, sendo que somente um deles está na área de estudo e os outros dois nas áreas adjacentes.

Na direção leste-oeste três *trends* de concentração de lineamentos foram observados, mas somente um deles está na área de estudo localizado na porção centro-norte cobrindo toda a extensão na área de estudo.

A demarcação dos *trends* de concentração de lineamentos, tanto para o mapa de células de malha 1000 X 1000, como para a de 500 X 500m, observa-se que o cruzamento das direções dos *trends* de concentrações é dado na subárea com maior concentração de lineamentos.

Os *trends* observados nos mapas de freqüência de lineamentos foram passados para os dados sísmicos na forma de linhas na superfície dos dados, e assim foram observadas seções sísmicas transversais aos lineamentos para a identificação de possíveis falhas compatíveis com a direção e comprimento dos *trends* mapeados. Desta forma, foram identificadas falhas tectônicas nos dados sísmicos muito próximas e compatíveis com o comportamento dos *trends* mapeados (**Figura 7** e **Figura 8**), mostrando uma perfeita correlação dos dados estruturais observados na superfície com os dados sísmicos em sub-superfície.

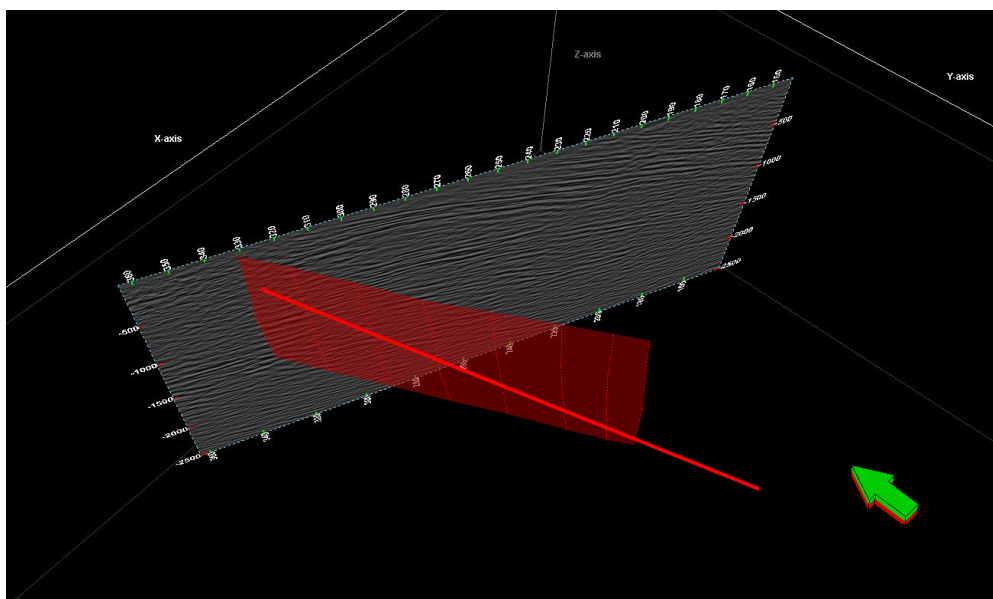


Figura 7. Linha sísmica 3D, mostrando a falha mapeada (superfície vermelha) e o respectivo *trend* estrutural observado nos mapas de freqüência de lineamentos (linha vermelha). Observa-se a direção semelhante entre o *trend* de lineamentos e a falha mapeada.

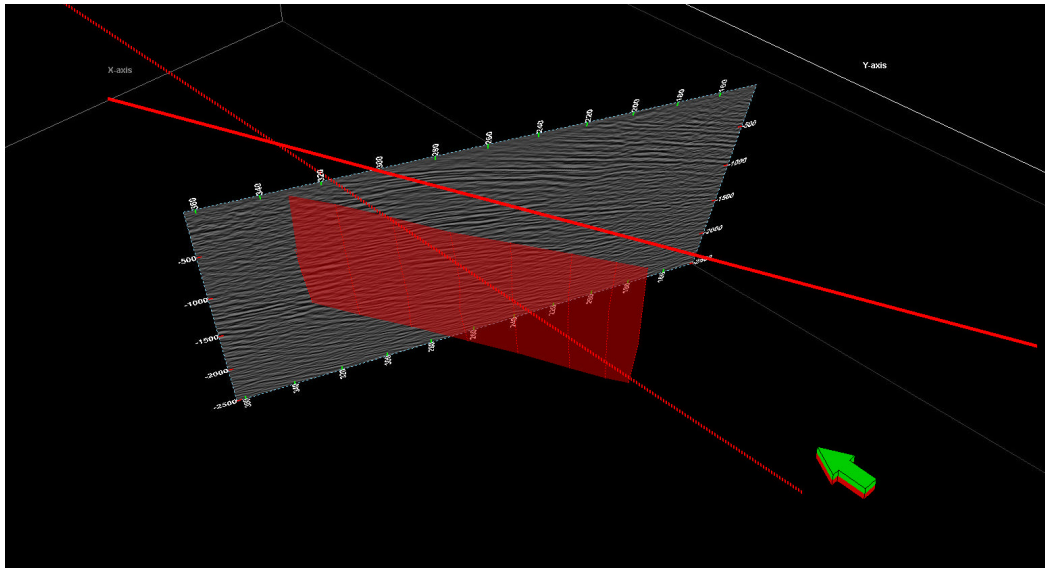


Figura 8. Linha sísmica 3D, mostrando a falha mapeada (superfície vermelha) e o respectivo *trend* estrutural observado nos mapas de frequência de lineamentos (linha vermelha). Observa-se a direção semelhante entre o *trend* de lineamentos e a falha mapeada.

4. Conclusões e Recomendações

No Sensoriamento Remoto, isto é, na visualização do terreno em superfície, o reflexo superficial de uma falha pode ser visualizada na forma de um lineamento ou em uma concentração de lineamentos, que podem ser mais evidentes em mapas de concentração de células.

Uma falha tectônica pode se manifestar na forma de lineamentos superficiais de diferentes orientações (reflexos do campo tensional), mapeável por diagramas de frequência de lineamentos.

Nos dados sísmicos, com visualização do terreno em subsuperfície, a baixa qualidade dos dados dificulta o mapeamento das falhas. Porém, com a utilização dos dados de sensoriamento remoto, torna-se mais evidente a observação destas falhas em dados sísmicos, tornando-a preditiva, ou seja, a observação desta falha ser mais esperada em dada região da seção.

De outra forma, os lineamentos que são observados no terreno e que não são identificados nos dados sísmicos pode ser devido a reativações tectônicas posteriores, e isso se deve a complexidade da geologia da área estudada que é outro importante fator a ser considerado.

5. Referências bibliográficas

Magnavita, L. P. **Geometry and Kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift, NE, Brazil.** 1992. 493p. Tese (Doutorado) – Oxford, University of Oxford.

Cupertino, J.A. & Bueno, G. Arquitetura das seqüências estratigráficas desenvolvidas na fase de lago profundo no Rife do Recôncavo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, V. 2005, 13(2), p. 245-267.