



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Lila Matorin Johansen

**Detalhamento sismoestratigráfico dos reservatórios turbidíticos do Campo
de Marlim, Bacia de Campos**

Rio de Janeiro

2011

Lila Matorin Johansen

**Detalhamento sismoestratigráfico dos reservatórios turbidíticos do Campo de Marlim,
Bacia de Campos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Luiz Menezes

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

J65 Johansen, Lila Matorin.
Detalhamento sismoestratigráfico dos reservatórios turbidíticos do
Campo de Marlim, Bacia de Campos / Lila Matorin Johansen. – 2011.
67f.: il.

Orientador: Paulo de Tarso Luiz Menezes.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Geologia.

1. Sismologia – Imagem tridimensional – Campos, Bacia de (RJ e ES) –
Teses. 2. Turbiditos – Teses. 3. Sedimentos marinhos – Campos, Bacia de
(RJ e ES) – Teses. 4. Reservatórios – Campos, Bacia de (RJ e ES) – Teses.
I. Menezes, Paulo de Tarso Luiz. II. Universidade do Estado do Rio de
Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 550.34(815.2/.3)

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Lila Matorin Johansen

**Detalhamento sismoestratigráfico dos reservatórios turbidíticos do Campo de Marlim,
Bacia de Campos**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias - geologia e geofísica de margens tipo Atlântico.

Aprovado em 31 de outubro de 2011.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo de Tarso Luiz Menezes (Orientador)

Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Marco André Malmann Medeiros

Faculdade de Geologia – UERJ

Dr. Emanuele Francesco La Terra

Observatório Nacional

Rio de Janeiro

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e amigos por todo apoio e paciência. Muito grata a Deus e aos Mestres por sempre olhar por todos nós em todos os momentos de nossas vidas.

Só tenho medo que o céu caia na minha cabeça.

Uderzo & Gosciny

RESUMO

JOHANSEN, Lila Matorin. **Detalhamento sismoestratigráfico dos reservatórios turbidíticos do Campo de Marlim, Bacia de Campos**. 2011. 67f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Neste trabalho utilizou-se de dado sísmico 3D do Campo de Marlim, Bacia de Campos, aplicado na identificação de seus reservatórios. Foi realizado um detalhamento do intervalo sísmico entre a base dos reservatórios de Marlim e o Marco Azul para uma melhor compreensão da sua geometria e disposição espacial, assim como da inter-relação dos mesmos. A este intervalo de tempo, definido a partir de dados de poços da área, aplicou-se as técnicas de atributo sísmico de similaridade, frequência instantânea e decomposição espectral. Esse procedimento maximizou a informação sísmica e revelou detalhes dos reservatórios que, de outra forma, seriam mascarados por outros efeitos como, por exemplo, o de tuning. Um diferencial deste trabalho foi a aplicação da decomposição espectral CWT (Continuous Wavelet Transform), por utilizar-se de uma janela natural para os sinais geológicos, que são dados que requerem uma maior resolução. Classicamente escolhe-se o uso da decomposição espectral FFT (Fast Fourier Transform), mais especificamente como STFT (Short Time Fourier Transform), porém aqui declinou-se de seu uso devido a susceptibilidade que causa ao resultado, uma vez que é passível ao erro de ajuste da janela de busca. Os mapas resultantes da aplicação de atributos sísmicos, mostraram-se altamente satisfatórios ressaltando lineamentos e superfícies de deposição com uma maior precisão e clareza do que em mapas de amplitude sísmica, permitindo um ótimo grau de detalhamento estratigráfico mostrando diferentes fases deposicionais e direções de fluxo.

Palavras chaves: Campo de Marlim. Bacia de Campos. Turbidito. Reservatório. Marco Azul. Atributo Sísmico. Similaridade. Frequência Instantânea. Decomposição Espectral. Sísmica 3D. CWT.

ABSTRACT

JOHANSEN, Lila Matorin. **Detailed seismic stratigraphy of turbidites reservoirs of Marlim Field, Campos Basin – Brazil**. 2011. 67f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

This work aimed to use 3D seismic data of Marlim Field, Campos Basin, applied to reservoir identification. The seismic interval between Marlim reservoirs base and Azul Marker, was detailed for a better understanding of the reservoirs geometry and their spatial distribution, as the relationship of them. For this time range, defined by local wells data, was applied seismic attribute techniques of similarity, instantaneous frequency and spectral decomposition. This procedure indeed increased the seismic data and revealed reservoir details that, otherwise, would be disguised by effects like tuning, for example. A differential of this work was the CWT (Continuous Wavelet Transform) spectral decomposition application, because its natural window adjusts for geologic signals, kind of data that require more resolution. The classic use of FFT spectral decomposition (more specifically, in STFT - Short Time Fourier Transform), was denied here due to the susceptibility that causes in the results, once it is liable to the adjust error in search window. The resulted maps, before the seismic attributes application, were highly satisfactory, enlightening lineaments and deposition surfaces, more accurate and clear than in the traditional amplitude maps, allowing a fine stratigraphic detailing that showed different depositional phases and flow directions.

Keywords: Marlim Field. Campos Basin. Turbidite. Reservoir. Blue Marker. Seismic Attribute. Similarity. Instantaneous frequency. Spectral Decomposition. 3D Seismic. CWT

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa de localização do Campo de Marlim e do cubo sísmico Marlim, que o contém, na Bacia de Campos.....	13
Figura 2 –	Mapa do cubo sísmico, em vista superior, o qual contém o Campo de Marlim com os três poços (1-RJS-219A-RJ, 3-RJS-326-RJ, 1-RJS-356-RJ) e a posição da Inline 326 e da Crossline 1554, utilizados para a presente interpretação.....	14
Figura 3 –	Mapa do cubo sísmico em perspectiva, no Campo de Marlim, com os três poços utilizados e a posição da Inline 326 e Crossline 1554, utilizados para a presente interpretação.....	15
Figura 4 –	Carta estratigráfica da Bacia de Campos, apresentando no retângulo vermelho a posição cronoestratigráfica do Campo de Marlim, e no retângulo azul, a do Marco Azul.....	17
Figura 5 –	Inline 326, mostrando a excelente qualidade do dado sísmico.....	19
Figura 6 –	Posição das <i>time slices</i> em relação ao cubo sísmico.....	20
Figura 7 –	Localização dos guias sísmicos utilizados, topo e base do Campo de Marlim e o Marco Azul, obtidos através dos dados do poço 1-RJS-219A-RJ, em detalhe na Inline 326 (seção W-E).....	21
Figura 8 –	Inline 326, vista em detalhe, em seção W-E, onde corta os poços 1-RJS-219A-RJ e 3-RJS-326-RJ.....	22
Figura 9 –	Crossline 1995, vista em detalhe, em seção N-S, onde corta o poço 1-RJS-356-RJ.....	23
Figura 10 –	Fluxograma de trabalho definindo todas as etapas realizadas até a extração de um modelo interpretativo final.....	27
Figura 11 –	Gráfico de frequência versus amplitude do subcubo em estudo, no qual se analisou a melhor disposição das frequências para a realização da decomposição espectral, no caso: 10hz, 50 hz e 90hz.....	28
Figura 12 –	Mapa de Amplitude Sísmica, onde as amplitudes positivas são representadas em azul e as negativas em vermelho, com o zero em branco, no time slice 2864.....	31
Figura 13 –	Mapa de Similaridade. As regiões em branco representam máxima	

	similaridade e as em preto, similaridade zero.....	32
Figura 14 –	Mapa de Frequência Instantânea, onde as frequências mais altas estão representadas em branco e as mais baixas em preto, sendo que os valores intermediários estão em matizes de cinza.....	34
Figura 15 –	Mapa de Baixa Frequência (R), representada em tons de vermelho.....	35
Figura 16 –	Mapa de Média Frequência (G), representada em tons de verde.....	36
Figura 17 –	Mapa de Alta Frequência (B), representada em azul.....	37
Figura 18 –	Mapa de Frequências Combinadas (RGB).....	38
Figura 19 –	Comparação entre os mapas de amplitude (á esquerda) e de similaridade (á direita).....	39
Figura 20 –	Comparação entre os mapas de Amplitude (á esquerda) e de Frequência Instantânea (á direita).....	40
Figura 21 –	Comparação entre os mapas de Amplitude (á esquerda) e de Frequências Combinadas (á direita).....	41
Figura 22 –	Seção da Crossline 1554 mostrando o poço 1-RJS-219 e as sequências sedimentares interpretadas.....	42
Figura 23 –	Seção da Inline 326, mostrando os poços 1-RJS-219 (linha preta a esquerda) e 3-RJS-326 (linha preta a direita), os principais falhamentos e as sequências sedimentares interpretadas.....	42
Figura 24 –	Modelo gerado: Mapa de Interpretação Geológica, realizado após o cruzamento dos resultados obtidos nas seções sísmicas, na Decomposição Espectral CWT, na Similaridade e na Frequência Instantânea.....	44
Figura 25 –	Bloco diagrama mostrando as feições observadas nas seções sísmicas interpretadas associadas ao Mapa de Interpretação Geológica.....	45
Figura 26 –	Janela de busca e outras configurações do atributo de Similaridade, no OpendTect 4.2.....	49
Figura 27 –	Configurações do atributo de Frequência Instantânea, no OpendTect 4.2...	49
Figura 28 –	Configurações do atributo de Decomposição Espectral usando transformada de Fourier do tipo CWT, na frequência de 10Hz, no OpendTect 4.2.....	50
Figura 29 –	Configurações do atributo de Decomposição Espectral usando transformada de Fourier do tipo CWT, na frequência de 50Hz, no OpendTect 4.2.....	50

Figura 30 – Configurações do atributo de Decomposição Espectral usando transformada de Fourier do tipo CWT, na frequência de 90Hz, no OpendTect 4.2.....	51
Figura 31 – Posicionamento das Inlines e Crosslines do Campo de Marlim utilizados nesse trabalho.....	52
Figura 32 – IL167.....	54
Figura 33 – IL226.....	55
Figura 34 – IL276.....	56
Figura 35 – IL326.....	58
Figura 36 – IL376.....	59
Figura 37 – IL426.....	60
Figura 38 – IL476.....	61
Figura 39 – XL1154.....	63
Figura 40 – XL1254.....	64
Figura 41 – XL1354.....	65
Figura 42 – XL1454.....	66
Figura 43 – XL1554.....	67
Figura 44 – XL1673.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de poços utilizados no presente estudo destacando o histórico exploratório de cada um. Localização na Figura 2.....	14
Tabela 2 – Parâmetros de aquisição dos dados sísmicos 3D do campo de Marlim.....	18

SUMÁRIO

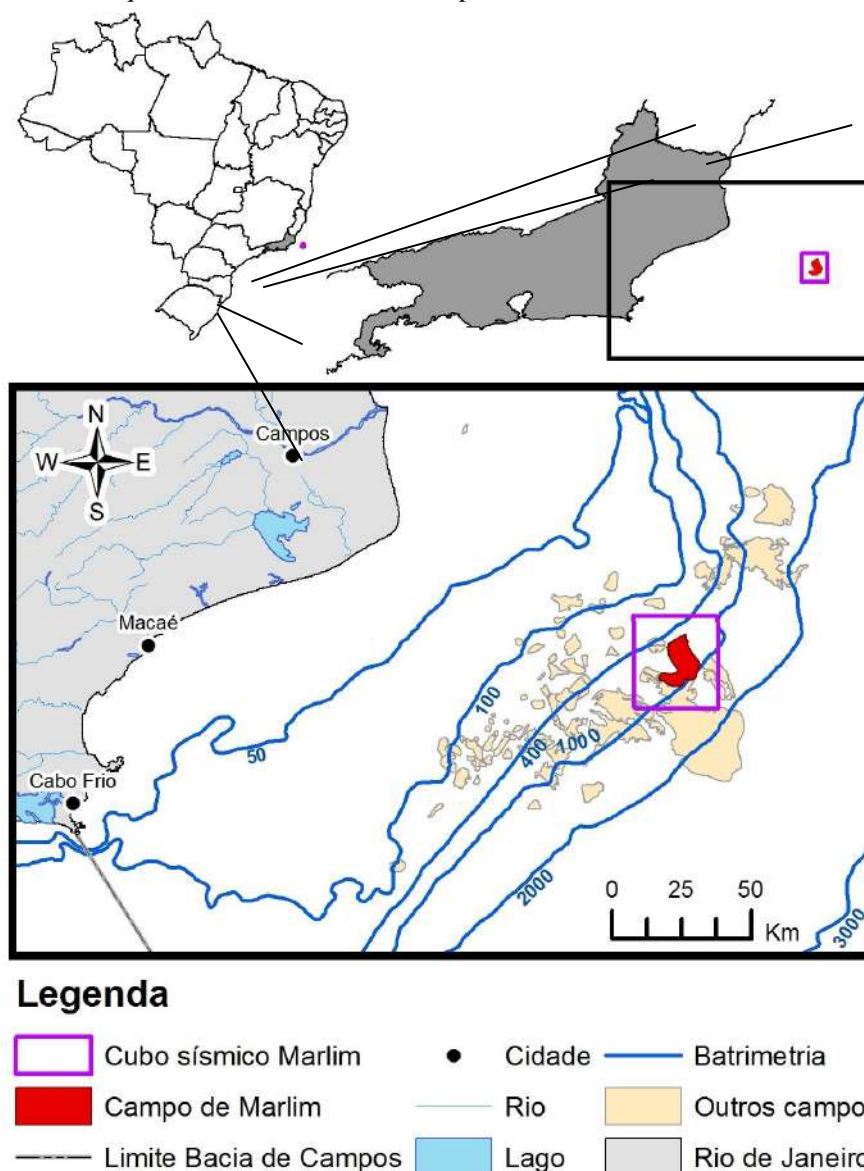
	INTRODUÇÃO	12
1	CONTEXTO GEOLÓGICO	16
2	CUBO SÍSMICO DE MARLIM	18
3	CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS E DE POCO: DELINEAMENTO DA PALEOSUPERFÍCIE BASAL DO CAMPO DE MARLIM	20
4	METODOLOGIA	24
4.1	Parâmetros utilizados nos atributos sísmicos	28
5	RESULTADOS	30
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A – Atributos sísmicos 3D calculados no software OpendTect 4.2	49
	APÊNDICE B – Inlines e Crosslines do Campo de Marlim	52
	APÊNDICE C – Inlines (IL) sem e com interpretação do Marco Azul e do Campo de Marlim	53
	APÊNDICE D – Crosslines (XL) sem e com interpretação do Marco Azul e do Campo de Marlim	61

INTRODUÇÃO

O Campo de Marlim está localizado na região nordeste da Bacia de Campos afastado aproximadamente a 100 km da costa do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Situa-se no limite entre águas rasas e profundas, com lâmina d'água entre 600 a 1000 metros. A descoberta do campo ocorreu em 1985 através da perfuração do poço 1-RJS-219-A, em lâmina d'água de 853 metros (Guardado *et al.*, 1989). Este poço descobridor foi proposto para testar uma estrutura anticlinal no topo do Cretáceo e o flanco de uma forte anomalia sísmica no Oligoceno (Candido e Cora, 1989), interpretada como um leque arenoso com cerca de 150 km² de área e espessura de 73 m, saturado por óleo de 19° API. O Complexo de Marlim engloba o Campo de Marlim propriamente dito e as acumulações adjacentes, Marlim Leste e Marlim Sul, em similar contexto estratigráfico e estrutural, alcançando no conjunto uma área de 380 km² e encerrando volume de óleo *in place* da ordem de 14 bilhões de barris (Tigre *et al.* 1990). Até bem pouco tempo era considerada uma das maiores acumulações descobertas já encontradas em território brasileiro.

O Campo de Marlim tem sido objeto de vários estudos geológicos e geofísicos visando não só o seu melhor entendimento, como também o desenvolvimento e teste de novas metodologias. Destacam-se os trabalhos pioneiros de Guardado *et al.* (1989), Candido e Cora (1989) e Tigre *et al.* (1990) envolvendo a descrição do Campo de Marlim. Peres (1993) apresenta aspectos mais regionais dos turbiditos do Oligoceno, a principal rocha reservatório de Marlim e de outros reservatórios do pós-sal na Bacia de Campos. Estudos de monitoramento do reservatório com a utilização de sísmica 4D foram apresentados, dentre outros, por Filpo *et al.* (1999), Sansonowski *et al.* (2007) e Johann *et al.* (2009). Estes últimos autores, demonstram que através da técnica de sísmica 4D foi possível obter o entendimento da movimentação de fluidos dentro dos reservatórios de Marlim. Técnicas avançadas de mapeamento automático de falhas e estruturas foram aplicadas com sucesso por Silva *et al.* (2005). Levantamentos sísmicos de alta resolução também foram utilizados para detalhamento dos reservatórios turbidíticos (Maia *et al.*, 2006).

Figura 1 – Mapa de localização do Campo de Marlim e do cubo sísmico Marlim, que o contém, na Bacia de Campos.



Fonte: A autora, 2011.

No presente trabalho aplicou-se a dados sísmicos 3D do Campo de Marlim (Figuras 2 e 3), além da interpretação sismoestratigráfica tradicional, as técnicas de decomposição espectral, similaridade e frequência instantânea; com o objetivo de melhor delinear as diferentes fácies dos arenitos turbidíticos. A aplicação desses atributos sísmicos proporcionou um sensível aumento de resolução na definição das feições sismoestratigráficas. Dados de três poços disponíveis na região (Tabela 1) foram utilizados para auxiliar na interpretação aqui apresentada.

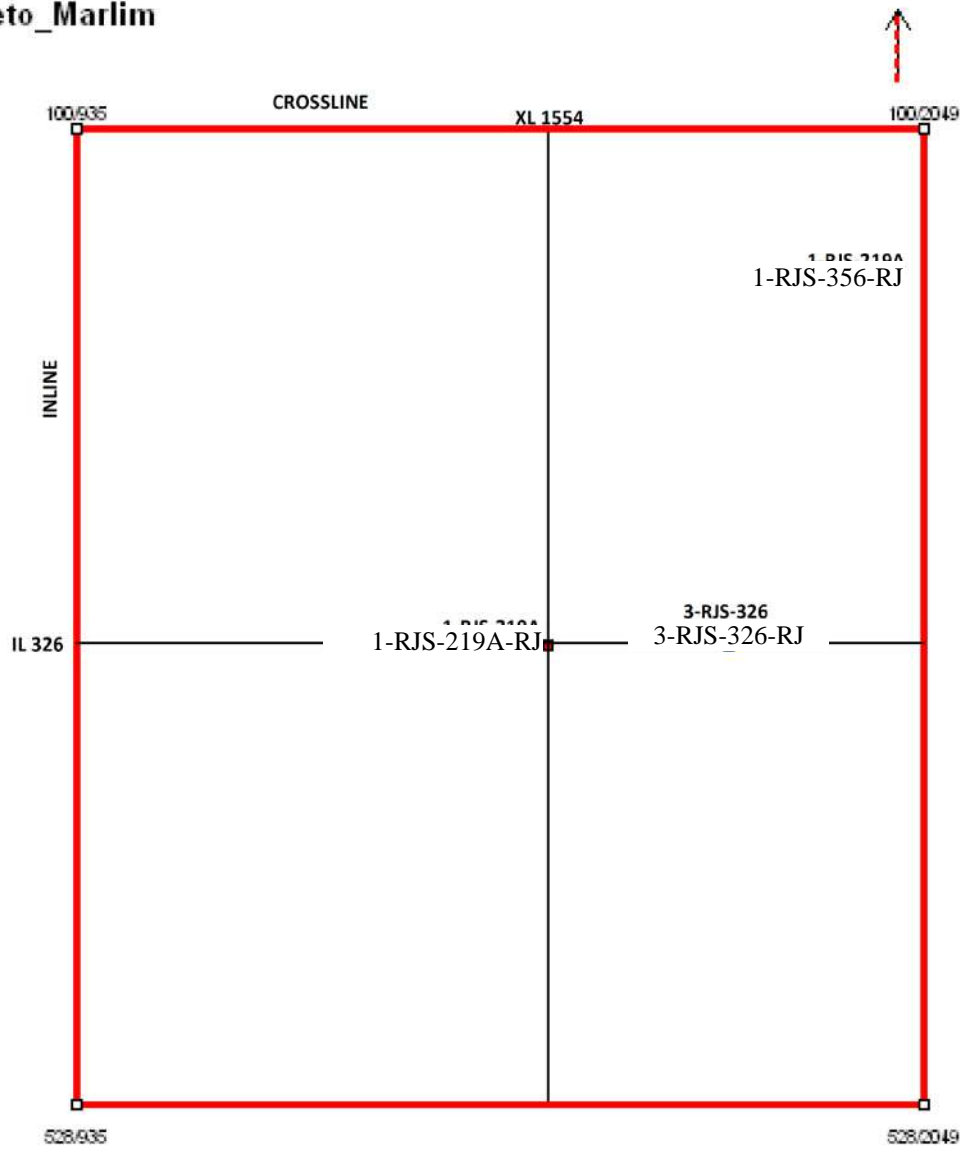
Tabela 1 – Lista de poços utilizados no presente estudo destacando o histórico exploratório de cada um. Localização na Figura 2.

Poço	Código ANP	Histórico Exploratório Declarado
P1	1-RJS-0219A	Pioneiro (Descobridor do Campo)
P3	3-RJS-326	Produtor (Extensão)
P4	1-RJS-356	Pioneiro (Seco)

Fonte: A autora, 2011.

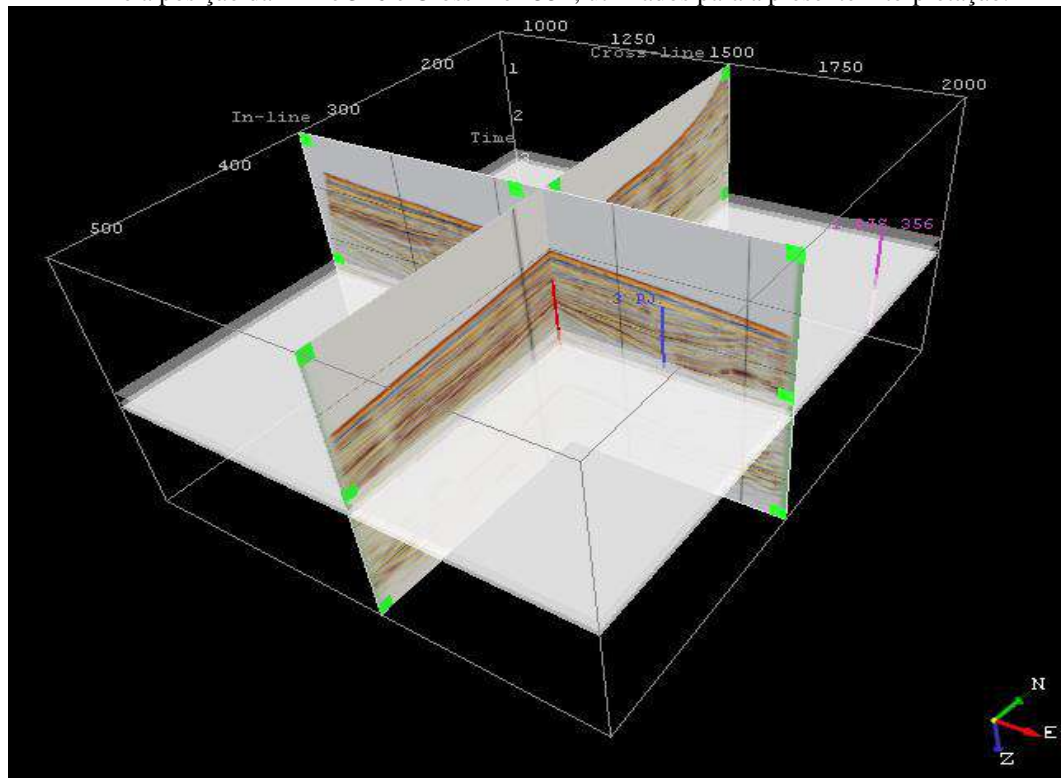
Figura 2 – Mapa do cubo sísmico, em vista superior, o qual contém o Campo de Marlim com os três poços (1-RJS-219A-RJ, 3-RJS-326-RJ, 1-RJS-356-RJ) e a posição da Inline 326 e da Crossline 1554, utilizados para a presente interpretação.

Projeto_Marlim



Fonte: A autora, 2011.

Figura 3 – Mapa do cubo sísmico em perspectiva, no Campo de Marlim, com os três poços utilizados e a posição da Inline 326 e Crossline 1554, utilizados para a presente interpretação.



Legenda: O poço 1-RJS-219A-RJ está como uma linha em vermelho, o 3-RJS-326-RJ em azul escuro e o 1-RJS-356-RJ está em roxo.

Fonte: A autora, 2011.

1 CONTEXTO GEOLÓGICO

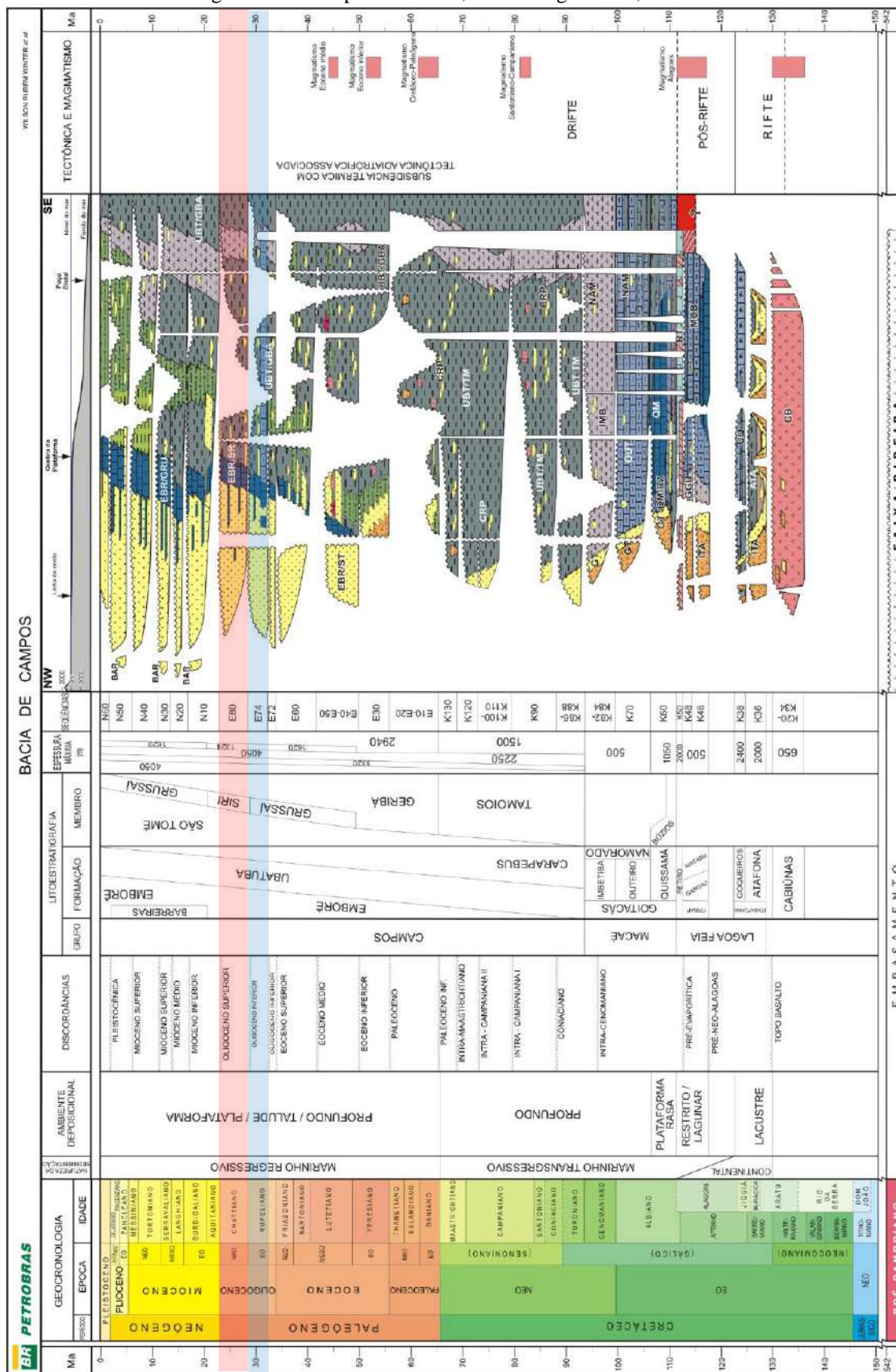
De acordo com Peres (1993), a evolução do sistema turbidítico de águas profundas na Bacia de Campos começou depois de um período de alto nível relativo do mar durante o Oligoceno Inferior, quando pouco sedimento era disponibilizado para a bacia profunda. Conseqüentemente uma camada pelágica fossilizada se distribuiu amplamente, caracterizando uma seção condensada carbonática denominada Marco Azul, pertencente ao Membro Siri (Gamboa, 1986), que constitui um excelente guia sísmico para os depósitos do Campo de Marlim. O Marco Azul apresenta-se como a discordância do Oligoceno Inferior na chamada Sequência E74 de Winter *et al.* (2007), sendo de idade Rupeliano Superior (Figura 4, marcado pelo retângulo em azul).

Após esse período de nível relativo de mar alto, ocorreu um estágio onde a descida relativa do nível do mar foi significativa, permitindo a formação do sistema fluvial dominado por ondas do Paraíba do Sul que começou a progradar, quando da subida do cráton na região da Serra do Mar (Guardado *et al.*, 1989), gerando uma plataforma continental rasa e de alta energia. Durante este período de tempo, o volume de sedimentos disponibilizado pelo sistema fluvial foi consideravelmente alto.

Próximo ao topo da seção condensada do Marco Azul, aparecem finos corpos de areia interpretados como turbiditos progradacionais, cujas reflexões sísmicas apresentam baixas amplitudes e excelente continuidade lateral, exceto nas regiões onde devido ao corte parcial do *canyon* ou por um *pinch-out* lateral, estes corpos ficam excessivamente finos.

Os reservatórios de Marlim resultam da sedimentação de corpos turbidíticos, de idade Oligoceno Superior (Chattiano), pertencentes a Formação Carapebus. Estes corpos formaram-se durante a fase *drift* da Bacia de Campos, em sedimentação marinho regressiva, na chamada Sequência E80 (Figura 4, marcado pelo retângulo em vermelho) de Winter *et al.* (2007).

Figura 4 – Carta estratigráfica da Bacia de Campos, apresentando no retângulo vermelho a posição cronoestratigráfica do Campo de Marlim, e no retângulo azul, a do Marco Azul.



Fonte: Winter et al., 2007.

2 CUBO SÍSMICO DE MARLIM

Os dados do cubo sísmico 3D aqui interpretado foram coletados para a PETROBRAS no ano de 1997. Os principais parâmetros de aquisição deste levantamento encontram-se sintetizados na Tabela 2.

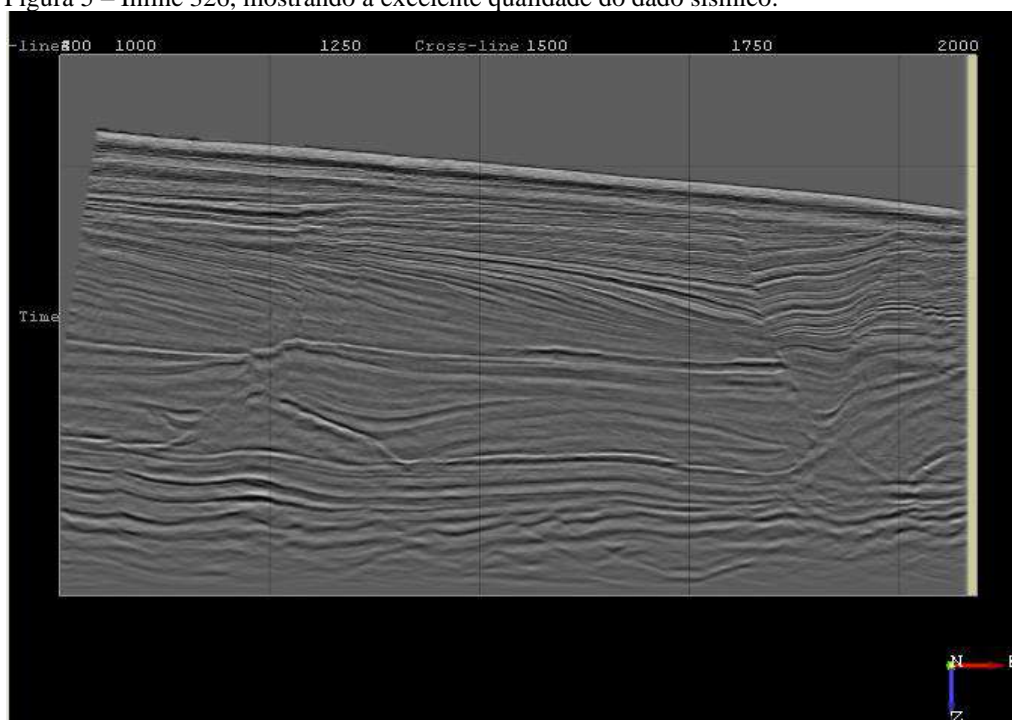
Tabela 2 – Parâmetros de aquisição dos dados sísmicos 3D do campo de Marlim.

Parâmetros	Quantificação
Área (km ²)	720
Número de cabos	6
<i>Spreads (offsets, m)</i>	0-148-3535,5
canais/cabo	288
Intervalo de tiro (m)	25
Intervalo entre receptores	12,5
Intervalo entre cabos (m)	50
Taxa de amostragem (ms)	1
Tamanho do <i>bin</i> (m)	12,5x25
Profundidade do cabo (m)	9
Azimute (graus)	123
<i>Nominal fold</i>	72
traços/km ²	230400

Fonte: Modificado de Johann et al., 2009.

Os dados foram editados e processados seguindo o fluxo tradicional de processamento 3D (Bacon et al., 2007) e foram disponibilizados pela ANP migrados em tempo (PosTM / *pos-stack time migration*). O cubo sísmico de amplitude final é composto por 428 inlines (com numeração de 100 a 528), 1114 crosslines (com numeração de 935 a 2049) e intervalo de tempo entre 60 a 5000 ms, com taxa de amostragem em profundidade de 4 ms. O dado sísmico possui excelente qualidade, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Inline 326, mostrando a excelente qualidade do dado sísmico.



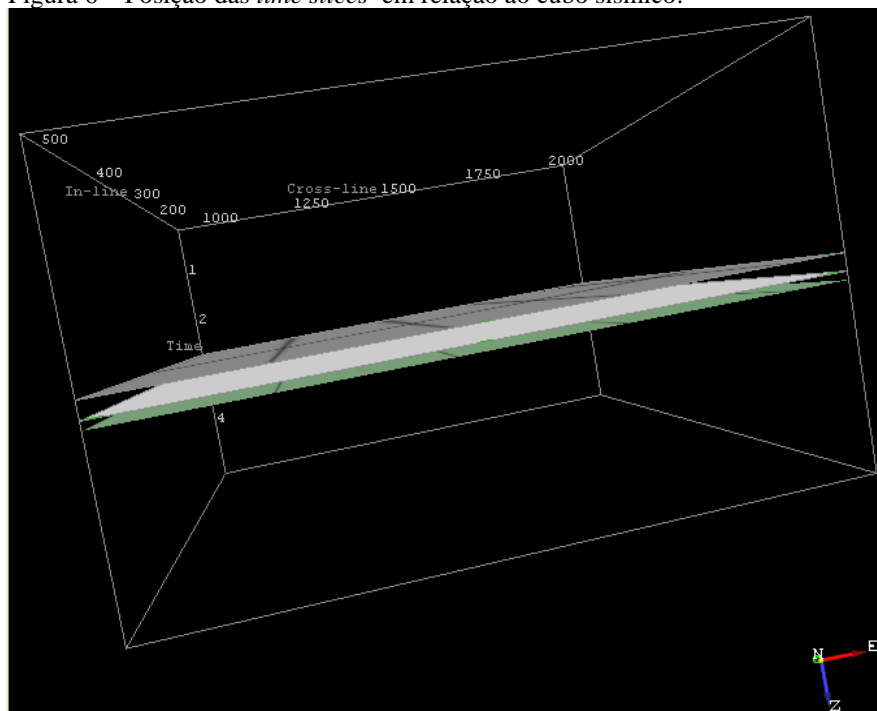
Fonte: A autora, 2011.

3 CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS E DE POCO: DELINEAMENTO DA PALEOSUPERFÍCIE BASAL DO CAMPO DE MARLIM

O intervalo sísmico detalhado neste trabalho compreende os canais turbidíticos posicionados estratigraficamente acima do Marco Azul e abaixo das clinofomas progradantes, sendo aqui definido através de uma *time slice*, uma *inline* e uma *crossline*. Uma observação imprescindível à interpretação é que o fundo do mar aqui apresentado encontra-se representado por uma anomalia de amplitude positiva (pico preto).

A área estudada foi reduzida a um subcubo limitado na sua porção inferior pelas superfícies basais dos turbiditos, definidas a partir de dois pontos (Figura 6): os poços 1-RJS-219A-RJ e 3-RJS-326-RJ, representados, respectivamente, pelos *time slices* 2768ms e 2864ms. A porção superior do subcubo foi definida pela base das formas sigmoidais do Mioceno Inferior, segundo notado no poço 1-RJS-219A-RJ, na posição da *time slice* 2568ms.

Figura 6 – Posição das *time slices* em relação ao cubo sísmico.

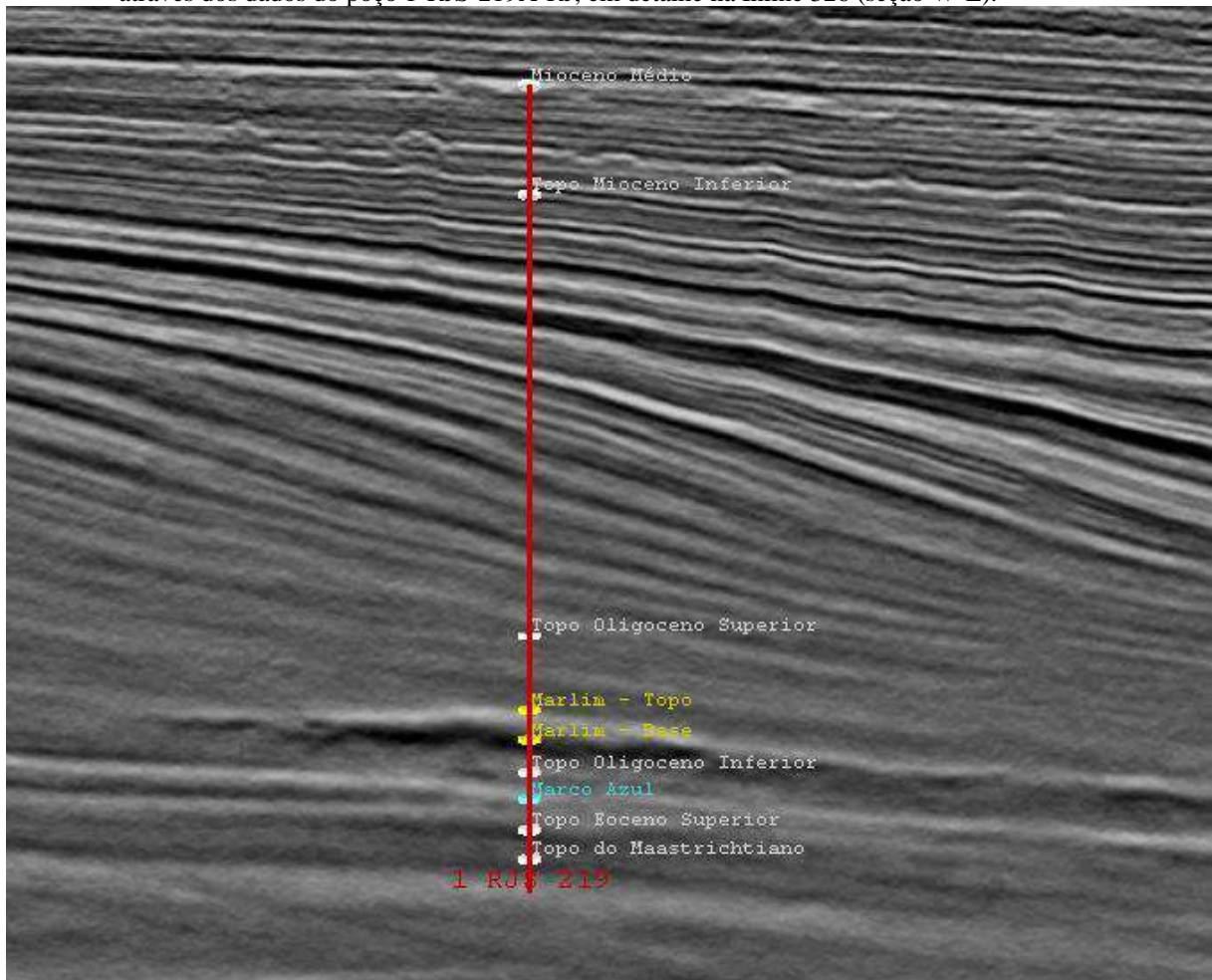


Legenda: Em cinza escuro temos a *time slice* 2568ms referente a base das clinofomas do Mioceno Inferior, em cinza claro a *time slice* 2768ms referente a base do Campo de Marlim no poço 1-RJS-219A-RJ, e em verde a *time slice* 2864ms referente a base do Campo de Marlim no poço 3-RJS-326-RJ. Ao final o subcubo possui 296ms de espessura, entre as *time slices* 2568ms e a 2864ms. Notar a rosa dos ventos no canto inferior direito.

Fonte: A autora, 2011.

A definição da *time slice* referente a base do Campo de Marlim no ponto do poço 3-RJS-326-RJ, foi realizada a partir das informações dos marcos cronoestratigráficos e guias sísmicos relatados no poço 1-RJS-219A-RJ (Figura 7), interpretados até a posição do poço 3-RJS-326-RJ. Uma vez que ambos os poços se posicionam sobre a *inline* 326 foi possível verificar a posição e mapear as superfícies da base do Campo de Marlim e do Marco Azul, as quais foram levadas para o ponto de localização do poço 3-RJS-326-RJ. Devido à inclinação das camadas, no sentido oposto ao do litoral, esta *time slice* apresenta-se um pouco mais profunda do que a do poço 1-RJS-219A-RJ.

Figura 7 – Localização dos guias sísmicos utilizados, topo e base do Campo de Marlim e o Marco Azul, obtidos através dos dados do poço 1-RJS-219A-RJ, em detalhe na Inline 326 (seção W-E).



Legenda: Topo e base do Campo de Marlim (em amarelo) e o Marco Azul (em azul). Também apresenta as unidades cronoestratigráficas (em branco) mais importantes neste trabalho: Topo do Oligoceno Superior, Topo do Oligoceno Inferior, Topo do Eoceno Superior. Em preto as amplitudes positivas e em branco, as negativas. Notar a excelente qualidade do dado de amplitude.

Fonte: A autora, 2011.

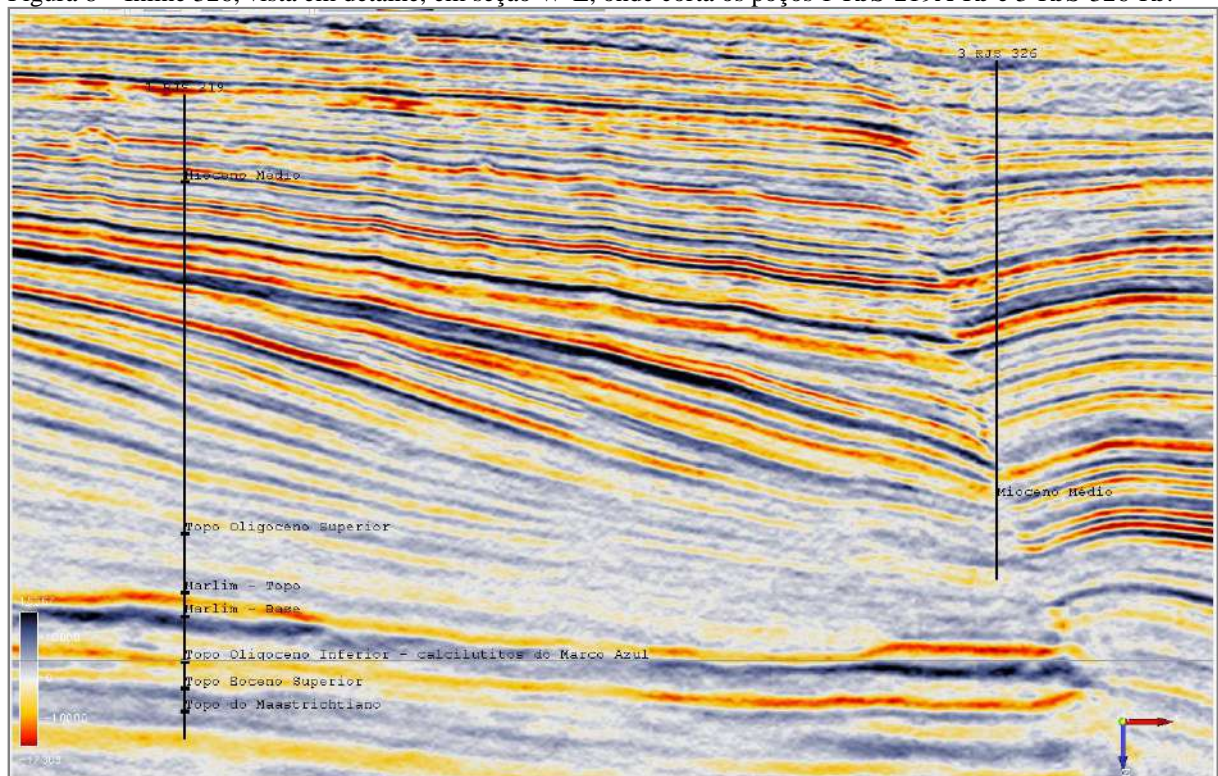
O subcubo resultante possui a espessura de 296 ms, sendo limitado entre as *time slices* 2568 e 2864 ms, conforme mostra a Figura 8, de forma a considerar a inclinação das camadas da superfície basal dos turbiditos em sua região não deformada.

Para a interpretação foi utilizada a *time slice* 2864 ms posicionada logo abaixo do poço produtor 3-RJS-326, por apresentar horizontalmente uma maior quantidade de informações da base do Campo de Marlim em relação a *time slice* do poço 1-RJS-219A-RJ, sendo portanto considerada a mais adequada para a interpretação conforme o foco deste trabalho.

A partir deste poço 3-RJS-326-RJ também foram definidas a *Inline* 326 e a *Crossline* 1554, que o cortam, para interpretação das principais seqüências sedimentares, além do posicionamento dos turbiditos de Marlim e do Marco Azul. Ambas *Inline* e *Crossline* podem ser também visualizadas no respectivamente na Figura 35 (Apêndice C) e na Figura 43 Apêndice D.

O poço 1-RJS-356-RJ (Figura 9) foi utilizado apenas para uma melhor compreensão da disposição das camadas na região de intenso falhamento, ocorrido pela tectônica do sal.

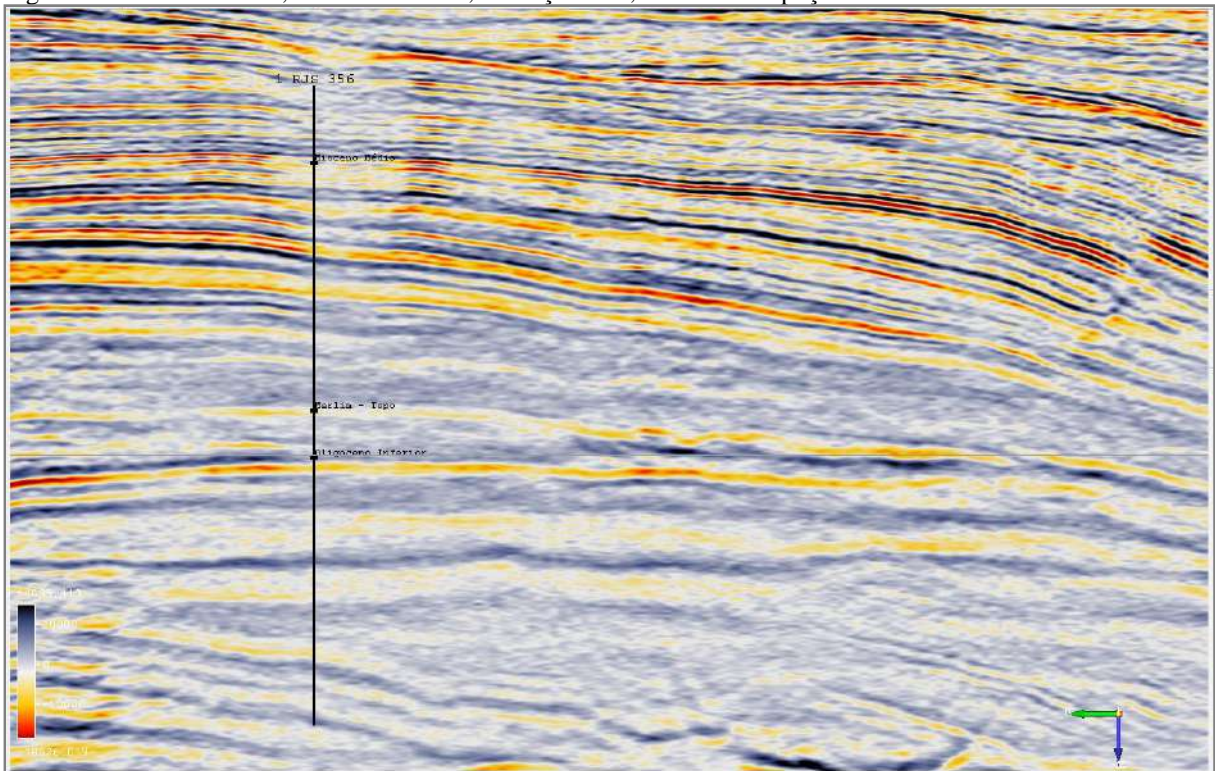
Figura 8 – *Inline* 326, vista em detalhe, em seção W-E, onde corta os poços 1-RJS-219A-RJ e 3-RJS-326-RJ.



Legenda: Poços 1-RJS-219A-RJ (linha preta a esquerda) e 3-RJS-326-RJ (linha preta a direita). O norte é o ponto verde entrando no mapa, e o leste a seta em vermelho apontando para a esquerda, na rosa dos ventos no canto direito inferior. Em preto as amplitudes positivas e em vermelho, as negativas.

Fonte: A autora, 2011.

Figura 9 – Crossline 1995, vista em detalhe, em seção N-S, onde corta o poço 1-RJS-356-RJ.



Legenda: Norte é a seta verde apontando para a esquerda, na rosa dos ventos no canto direito inferior. Em preto as amplitudes positivas e em vermelho, as negativas.

Fonte: A autora, 2011.

Com base na *Inline* 326 e na *Crosline* 1554 foi possível extrapolar a interpretação com precisão. Uma visão geral do resultado dessa interpretação dentro da região da zona não deformada, encontra-se entre os apêndices B e D, entre as figuras 31 e 44. É apresentado as principais falhas, a base do Campo de Marlim e o Marco Azul.

O Marco Azul, caracterizado por possuir amplitudes baixas, na etapa de interpretação foi um guia sísmico essencial para a delimitação dos corpos turbidíticos. Esses reservatórios são conspícuos devido a sua assinatura sísmica marcada por reflexões anômalas de amplitudes ainda mais baixas do que o Marco Azul e excelente continuidade lateral, conforme observado junto aos poços. Os reservatórios podem ser observados ocorrendo distando acima do Marco Azul, a uma média de 76.5 ms.

Importante salientar que neste trabalho o Marco Azul foi interpretado em sua composição positiva devido a uma maior facilidade no uso de ferramenta de interpretação semi-automática.

4 METODOLOGIA

Conforme Chopra & Marfurt (2008) um atributo sísmico é qualquer medida de dado sísmico que permita incrementar a visualização ou quantificar feições. Neste trabalho, foram definidos como ideais, para as feições a serem interpretadas, o atributo de tempo Similaridade e os seguintes atributos de frequência: Frequência Instantânea e Decomposição Espectral. Utilizou-se o programa OpendTect, na versão 4.2, que disponibiliza esses atributos sísmicos em sua versão gratuita. As feições de interesse foram: falhas e outras feições estruturais, limite não deformado da sub bacia em estudo e os limites dos turbiditos confinados e não confinados.

O atributo sísmico de Similaridade (Sim) é a medida de correlação entre duas formas de onda ou dois traços sísmicos, vistos matematicamente como componentes de vetores, onde Sim=1 significa que os segmentos de traço são completamente idênticos em forma de onda e amplitude e Sim=zero, significa que são completamente dissimilares. Esse atributo é muito utilizado para definição de feições estruturais.

Conforme mostra a Equação 1, apresentada abaixo (Zabir Hossain, 2009), a Similaridade é definida como, UM menos a distância Euclidiana entre os vetores, dividido pela soma do comprimento de cada vetor.

$$s i m = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_i^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^N Y_i^2}} \quad (1)$$

Onde:

sim = Similaridade

X=posição do vetor no ponto de interseção entre *inline* e *crossline*

Y=posição do vetor da mesma *inline*, mas na *crossline* seguinte

N=número de traços

O atributo sísmico de Frequência Instantânea denota o comportamento das frequências especificamente no intervalo de amostragem, como, por exemplo, uma *time slice*.

O atributo sísmico de Decomposição Espectral, de acordo com Brown (2004), é a sua decomposição em uma série de seções equivalentes, cada uma com uma banda bem mais estreita do que a principal. No conceito de decomposição espectral a reflexão de uma camada fina tem uma expressão característica no domínio da frequência, o que é indicativo da espessura temporal da camada ou isócrona (Partika, 1999). Este atributo se mostra extremamente útil para o incremento da resolução sísmica, permitindo visualizar dados que ficariam invisíveis se analisados unicamente através de sua amplitude. Conforme Partika (*op.cit.*) a decomposição espectral corresponde à separação das séries temporais, utilizando a transformada de Fourier (Equação 2 – fórmula básica da transformada de Fourier), em amplitude e seus componentes de fase, maximizando os atributos e propriedades do dado no domínio da frequência tanto para o processamento, quanto para a interpretação.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{-2\pi i ft} dt \quad (2)$$

Onde:

X(t) = série temporal

X(f) = resposta da frequência em X(t)

f = frequência de decomposição

t = amostra de tempo de X(t)

Elementos sísmicos com reflectividades muito próximas frequentemente tornam-se indistintos, porém a utilização da decomposição espectral ressalta essas frequências que de outra forma desapareceriam (Guo *et al.*, 2009).

De acordo com Brown (2008) a frequência geológica corresponde ao número de reflexões da camada com a unidade de espessura da rocha, significando então que a alta frequência representa um maior número de camadas visíveis, em contraposição às baixas frequências.

O método convencional para a realização da decomposição espectral é o STFT (*Short Time Fourier Transform*) que utiliza-se de uma janela de tempo fixada pelo usuário onde a resolução sísmica fica dependente da mesma, impedindo muitas vezes a visualização de diversas informações primordiais ao intérprete. Por esta razão aqui se utilizou da decomposição do dado sísmico por

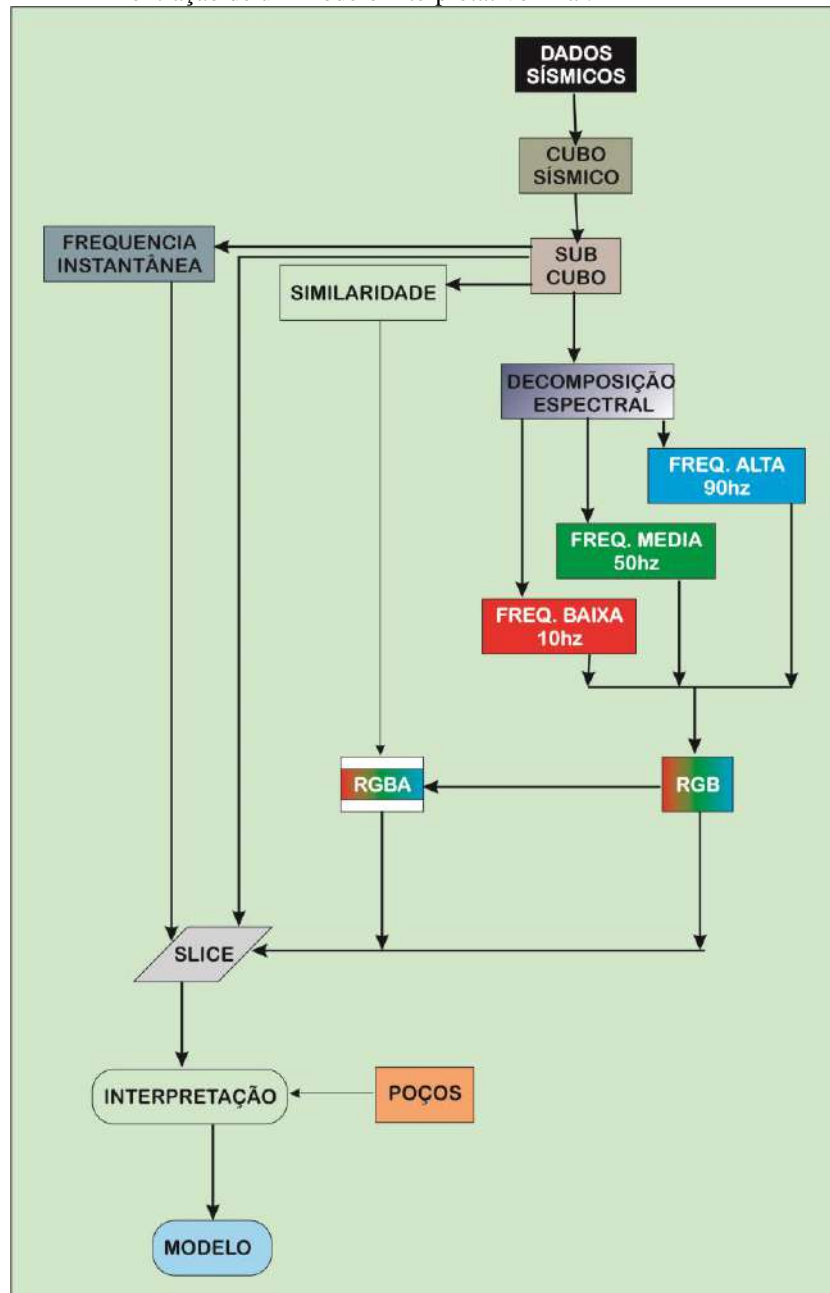
Conforme Sinha et. Al (2005) a CWT (*Continous Wavelet Transform*) utiliza-se de uma aproximação diferente na análise de tempo-frequência.

A análise CWT provê alta frequência em baixa resolução e alto tempo em alta frequência, permitindo uma otimização na visualização do dado em qualquer situação. Além disso, ao invés de uma janela de tempo, utiliza-se de um tipo de ondulação (Morlet, *mexican hat*, Meyer, gaussiana, etc.) como uma janela de adaptação, a qual, devido a sua propriedade de dilatação, de forma fractal, se adapta a qualquer escala, sendo esta uma janela natural para sinais que requerem maior resolução. Ao final nos permite examinar a frequência através de variados tempos, resultando em um mapa de tempo-frequência adaptativo a natureza não estacionária do sinal sísmico. Assim é inibido o erro do usuário, passível de ocorrer na análise STFT, onde dificilmente conseguiria-se definir uma janela ideal de tempo em um cubo repleto de geologia complexa.

A decomposição do espectro sísmico é realizada em 3 bandas de frequência, de forma similar ao de imagens digitais, dividindo o espectro nas três cores básicas (vermelho, verde e azul) o que o torna mais facilmente manipulável. Como comentado por Dalley (2010), tal como acontece com a banda de frequência visual, a largura de banda sísmica é dividida em três faixas de frequência individuais de largura de banda constante, com aproximadamente 25% de sobreposição entre as bandas adjacentes. É então definido como padrão para cada uma dessas três faixas, cores relativas ao espectro visível da luz, sendo a cor vermelha para a baixa frequência, o verde para a banda média, e o azul para a alta frequência.

Conforme a Figura 10, para o presente estudo definiu-se paralelamente três frentes de trabalho, apresentadas aqui em forma de fluxograma, realizadas após a definição do subcubo sísmico, com a aplicação de cada um dos atributos sísmicos: similaridade, frequência instantânea e decomposição espectral.

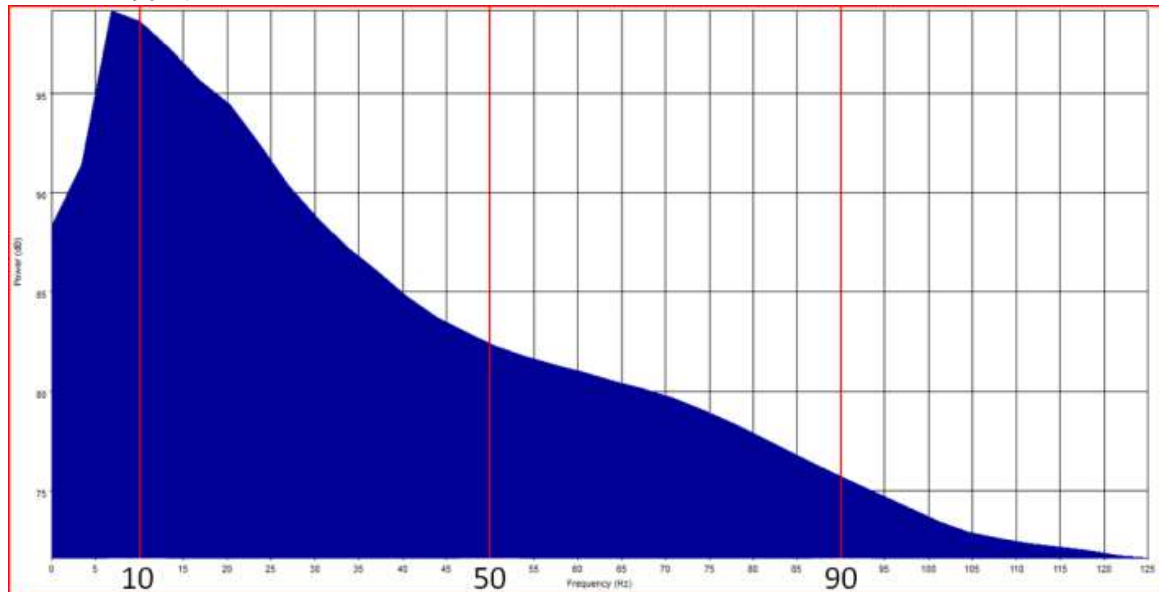
Figura 10 – Fluxograma de trabalho definindo todas as etapas realizadas até a extração de um modelo interpretativo final.



Fonte: A autora, 2011.

Para a realização da decomposição do espectro foram consideradas três frequências: 10hz, 50 hz e 90hz. O resultado desta análise espectral foi o gráfico de frequência versus amplitude, observado na Figura 11. Esta análise da decomposição espectral do tipo CWT, só foi realizada após a definição do subcubo, de forma a se extrair um gráfico de amplitude versus frequência representativo do mesmo.

Figura 11– Gráfico de frequência versus amplitude do subcubo em estudo, no qual se analisou a melhor disposição das frequências para a realização da decomposição espectral, no caso: 10hz, 50 hz e 90hz.



Fonte: A autora, 2011.

O resultado de cada espectro foi utilizado para a recomposição em um mapa RGB (*Red-Green-Blue*, ou Vermelho-Verde-Azul), de forma a obter uma imagem sísmica onde a cor representa a informação da frequência e o brilho representa a amplitude do sinal (Dalley, op.cit.).

Através dessa imagem também foi possível gerar um mapa RGBA, onde o A representa a informação da similaridade.

Todos esses sub produtos, aplicados ao *time slice* 2864, forneceram dados valiosos para a interpretação, os quais, somado aos dados de poço, foi possível definir um modelo para a deposição dos turbiditos do Campo de Marlim.

4.1 Parâmetros utilizados nos atributos sísmicos

Para o atributo de similaridade utilizou-se a janela de busca de 4 ms, que representa a taxa de amostragem em profundidade, com busca em faixa de 90 graus em frente ao intervalo de comparação.

O atributo de frequência instantânea não precisou de configurações, pois ele apenas coloca em evidência o intervalo de frequências do objeto em estudo, no caso a *time slice* 2864.

Por fim, a decomposição espectral foi realizada através de transformada de Fourier do tipo CWT. Esta foi realizada sobre uma ondulação base do tipo gaussiana. As faixas de frequências obedeceram às regiões de pico, observadas no gráfico de frequência versus amplitude, porém foi realizado um ajuste fino de forma tentativa, até se encontrar as faixas que mais iluminavam a informação.

Todas as configurações utilizadas para os atributos supracitados foram realizados em ambiente do Software OpenTect, na versão 4.2, e estão apresentadas no Apêndice A, entre as figuras 26 e 30.

5 RESULTADOS

Conforme exposto anteriormente os atributos sísmicos definidos, foram aplicados na *time slice* 2864, com os resultados a seguir.

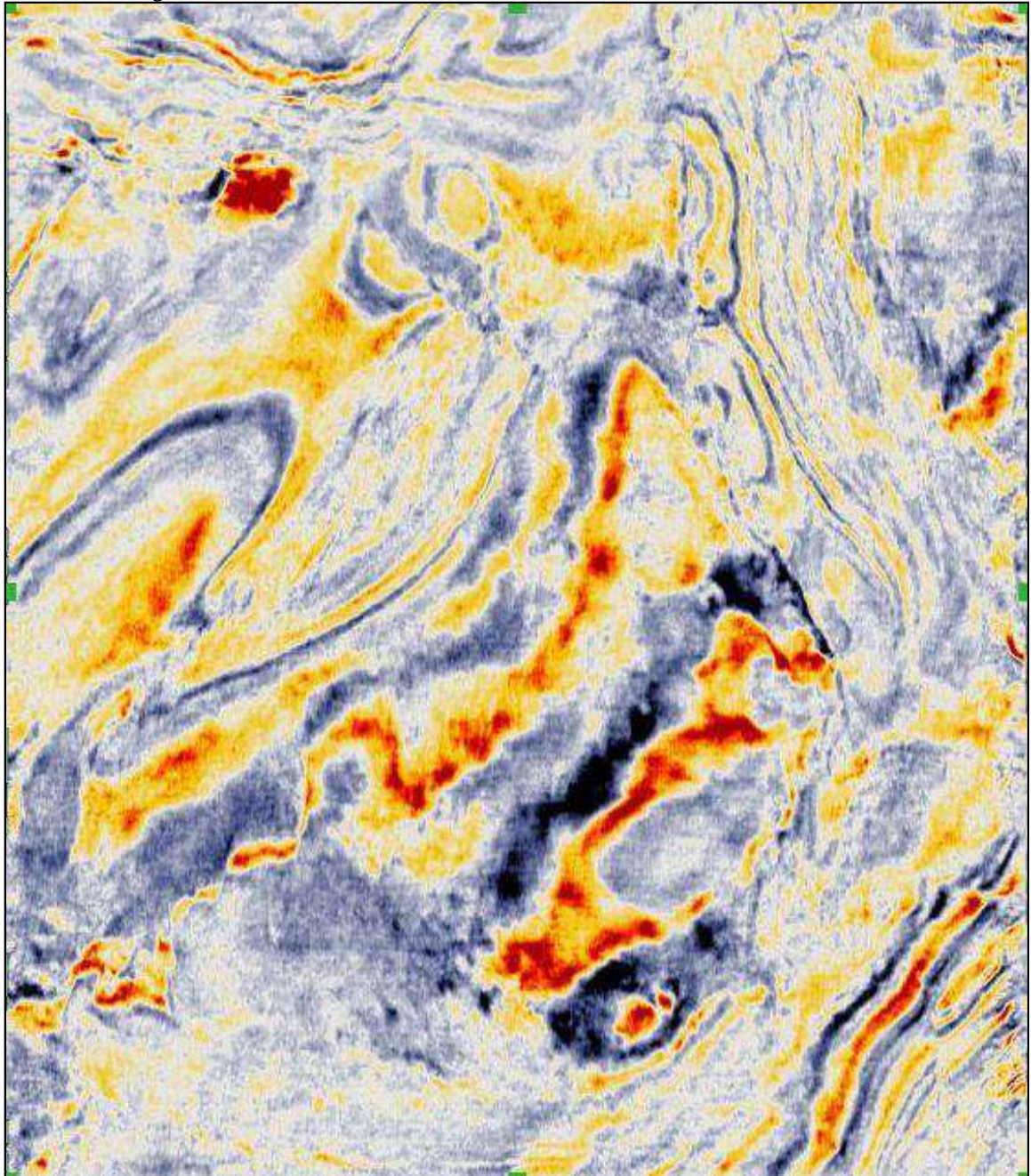
O Mapa de Amplitude Sísmica representa uma visão do dado em tempo versus amplitude (Figura 12), sendo as amplitudes positivas representadas em azul e as negativas em vermelho, com o zero em branco.

É possível notar que bordejando o mapa são observadas rápidas variações na amplitude. Estas representam regiões mais intensamente perturbadas, não sendo possível ter uma maior distinção dos limites das feições geológicas, devido ao grande número de reflexões observadas nestes locais, impossibilitando uma interpretação mais precisa das mesmas.

A região mais central apresenta maior homogeneidade devido a menor variação das amplitudes, sugerindo uma melhor definição no limite dos corpos, entretanto sua interpretação pode apresentar-se precipitada, levando a erros geológicos, pois a definição do limite dos corpos e das falhas apresenta equidade na intensidade das amplitudes.

Nesta região central encontra-se a área de interesse, representada pelos canais turbidíticos verificados nos poços e pelo Marco Azul.

Figura 12 – Mapa de Amplitude Sísmica, onde as amplitudes positivas são representadas em azul e as negativas em vermelho, com o zero em branco, no time slice 2864.



Fonte: A autora, 2011

Para a correta interpretação do Mapa de Amplitude, se faz necessário visualizar o mesmo junto às seções sísmicas, o que permitirá extrapolar para a *time slice* a interpretação geológica dos corpos identificados, como pode ser realizado com as Figuras 22 (*Crossline* 1554) e 23 (*Inline* 326).

O Mapa de Similaridade apresenta as regiões em branco como de máxima similaridade (Sim=1) e as em preto, de similaridade zero (Figura 13).

A análise da similaridade permitiu definir regiões distintas dentro do subcubo. As regiões que apresentam baixa similaridade (lineamentos pretos), são representadas por áreas correspondentes a maior movimentação estrutural.

Já as regiões que apresentam alta similaridade (em branco), refletem baixa perturbação tectônica, sendo correlacionáveis tanto as feições turbidíticas, quanto aos carbonatos do Marco Azul.

Figura 13 – Mapa de Similaridade. As regiões em branco representam máxima similaridade e as em preto, similaridade zero.



Legenda: Os tons de cinza indicam valores intermediários. Essas regiões com alta similaridade refletem menor perturbação tectônica, enquanto as de baixa similaridade, maior perturbação.

Fonte: A autora, 2011.

O Mapa de Frequência Instantânea, visualizado na Figura 14 representa o intervalo de frequências instantâneas encontrados na *time slice* em estudo. As frequências mais altas estão representadas em branco e as mais baixas em preto.

A visualização do Mapa de Frequência Instantânea nos informa sobre regiões com diferentes texturas, onde, as regiões de textura lisa e cor cinza, representam a área de ocorrência dos canais turbidíticos e a área entre os falhamentos. Este atributo foi aqui utilizado pela sua delimitação mais precisa da região pouco deformada da sub bacia em estudo.

Deve ser destacado que o Marco Azul, posicionado dentro da parte central e entre regiões de textura lisa e cor cinza médio, apresenta uma assinatura diferente das demais, permitindo traçar o seu contorno, apresentando tons de cinza mais escuro a preto, além de uma textura intermediária, nem tão liso ou rugoso.

Figura 14 – Mapa de Frequência Instantânea, onde as frequências mais altas estão representadas em branco e as mais baixas em preto, sendo que os valores intermediários estão em matizes de cinza.



Fonte: A autora, 2011.

A Decomposição Espectral tem por característica a geração de 4 mapas: baixa frequência ($R = Red$, ou seja, vermelho) (Figura 15), média frequência ($G = Green$ ou seja, verde) (Figura 16), alta frequência ($B = Blue$, ou seja, azul) (Figura 17), mapa de frequências combinadas (RGB) (Figura 18). A descrição desses mapas segue abaixo.

No Mapa de Baixa Frequência (R) é possível destacar uma região mais intensamente falhada de outra com relativamente muito poucas estruturas. Os grandes falhamentos ficam bem claros. A região do Marco Azul fica completamente em foco na parte central (Figura 15).

Figura 15 – Mapa de Baixa Frequência (R), representada em tons de vermelho.

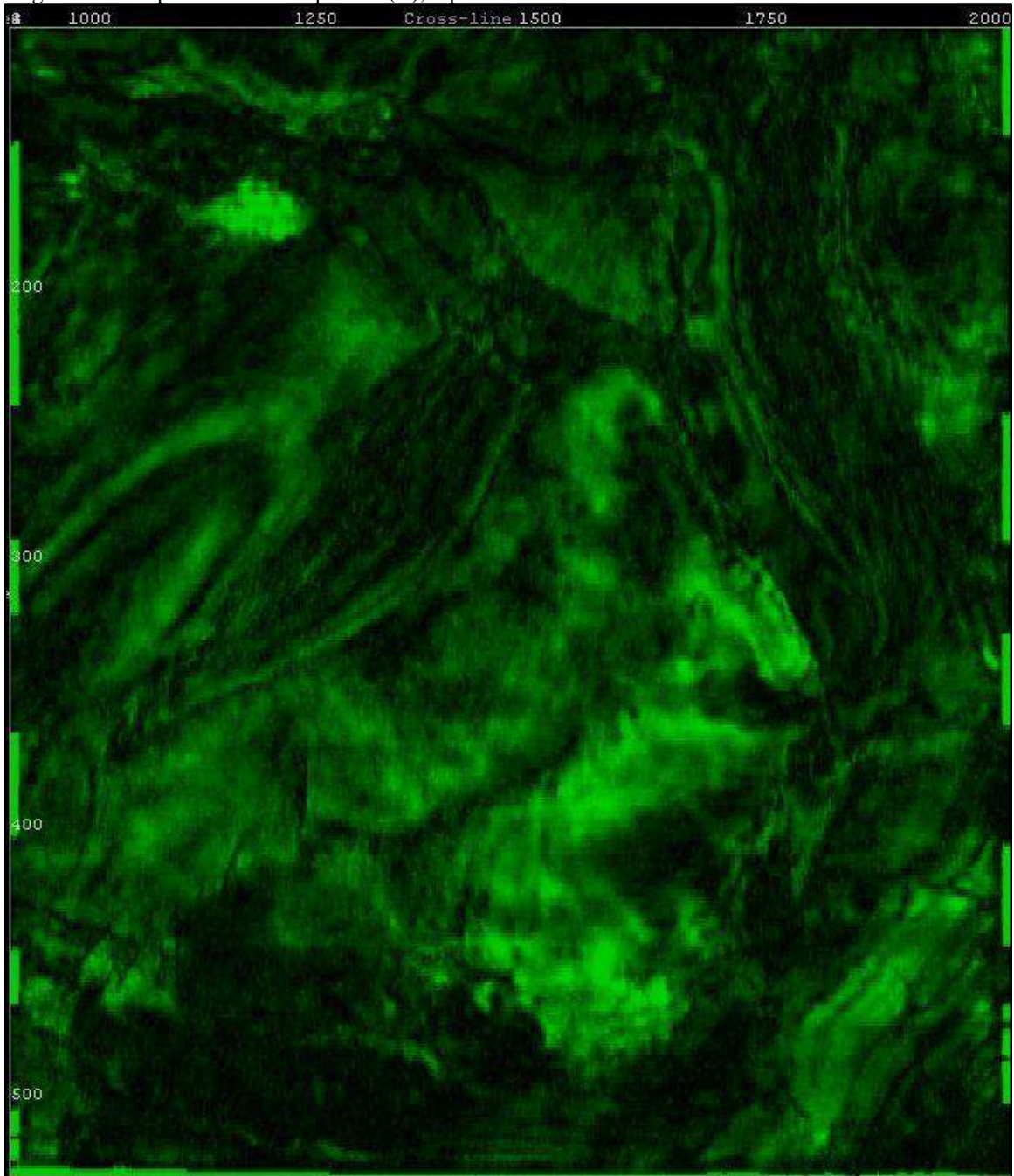


Legenda: A cor preta é relativa a regiões representadas em outras frequências, e a variação da amplitude é representada pelo brilho, ou seja, através da intensidade da cor vermelha.

Fonte: A autora, 2011.

No Mapa de Média Frequência (G) percebe-se detalhes na região falhada, com um maior número de falhas visíveis. A região de deposição dos turbiditos fica em foco e dentro dela surgem falhas de menor proporção (Figura 16).

Figura 16 – Mapa de Média Frequência (G), representada em tons de verde.

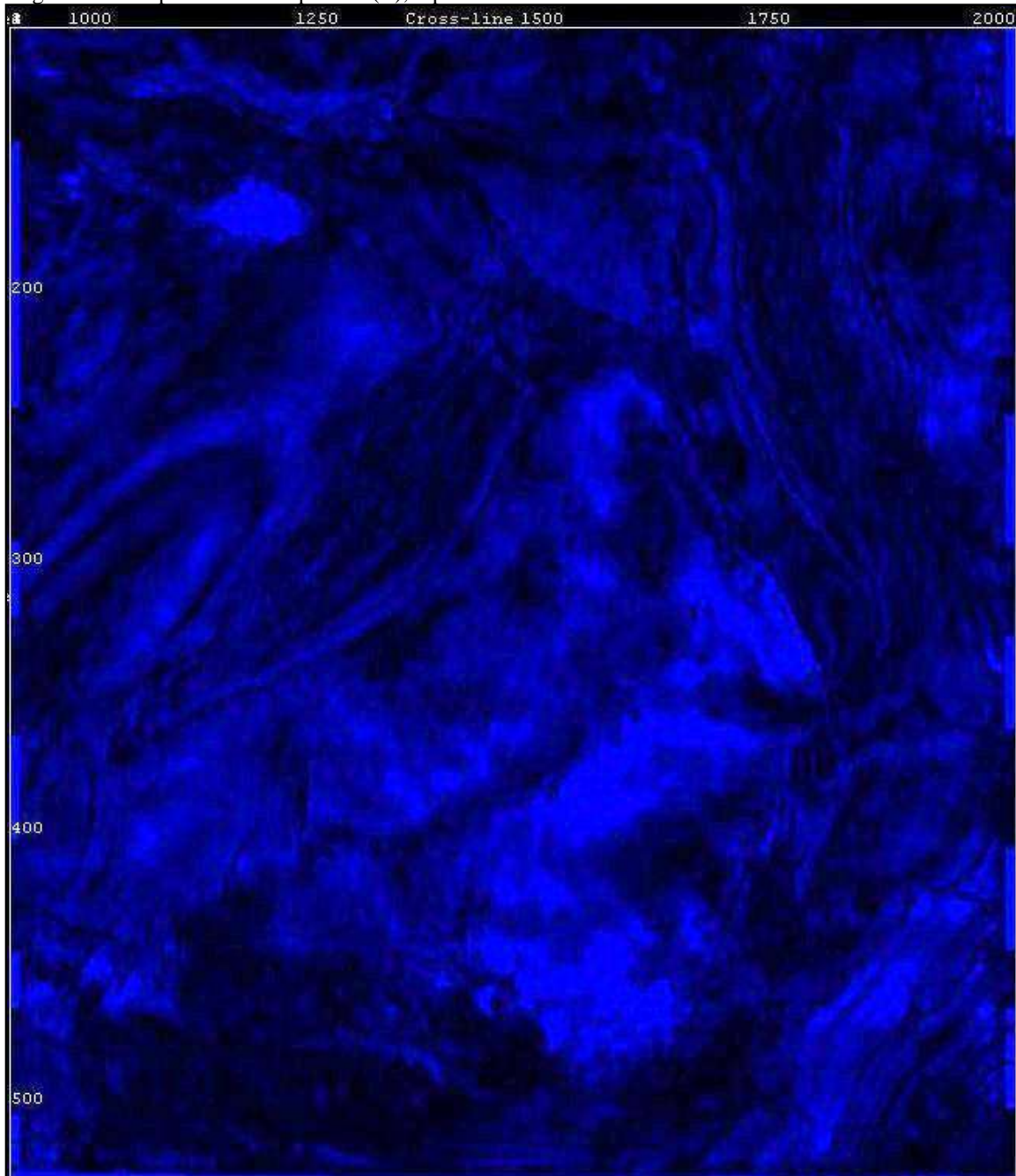


Legenda: A cor preta é relativa a regiões representadas em outras frequências, e a variação da amplitude é representada pelo brilho, através da intensidade da cor verde.

Fonte: A autora, 2011.

No Mapa de Alta Frequência (B) apresenta-se com maior clareza a região intensamente falhada, com seus elementos bem definidos. Pode-se perceber variações na região dos depósitos turbidíticos, representando seus canais, além de diversas falhas de menor proporção (Figura 17).

Figura 17 – Mapa de Alta Frequência (B), representada em azul.



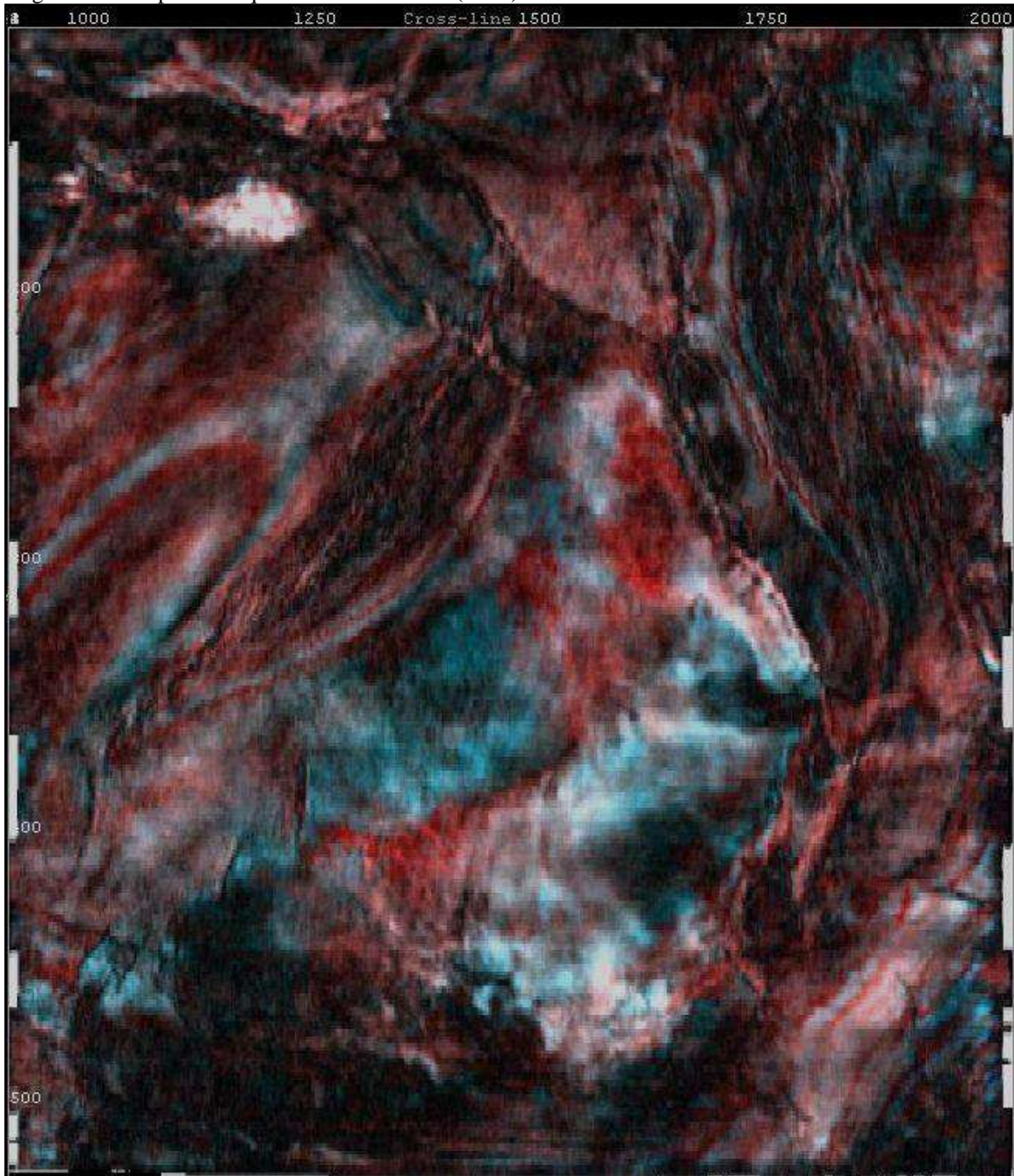
Legenda: A cor preta é relativa a regiões representadas em outras frequências, e a variação da amplitude é representada pelo brilho, através da intensidade da cor azul.

Fonte: A autora, 2011.

O Mapa de Frequências Combinadas (RGB) apresenta uma alta definição dos elementos mais importantes na região. A região de intenso falhamento apresenta toda uma série de detalhes com as grandes falhas bem definidas. A região interna a estas apresenta-se bem mais homogênea onde é possível destacar a região dos turbiditos (em azul e branco) da região do Marco Azul (em vermelho), ambos com excelente precisão. Verifica-se diversas

falhas de menor porte cortando ambos. Alguns canais dos turbiditos também são denotados em tom azul mais intenso, apresentando aspecto meandriforme (Figura 18).

Figura 18 – Mapa de Frequências Combinadas (RGB).

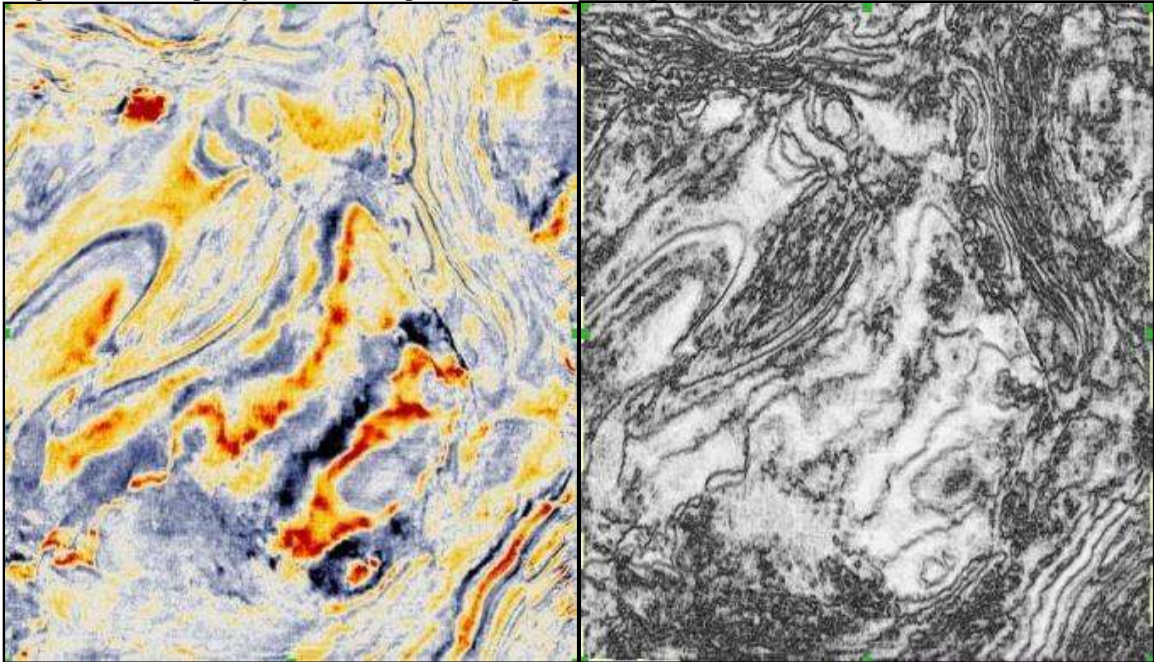


Legenda: A cor preta e a branca, representando o brilho, demonstram a variação da amplitude.

Fonte: A autora, 2011.

Ao se comparar o Mapa de Amplitude Sísmica com o de Similaridade, percebe-se que neste último são ressaltadas linhas que indicam limite de camadas e falhas, com um detalhamento e clareza superior ao do Mapa de Amplitude (Figura 19).

Figura 19 – Comparação entre os mapas de amplitude (à esquerda) e de similaridade (à direita).

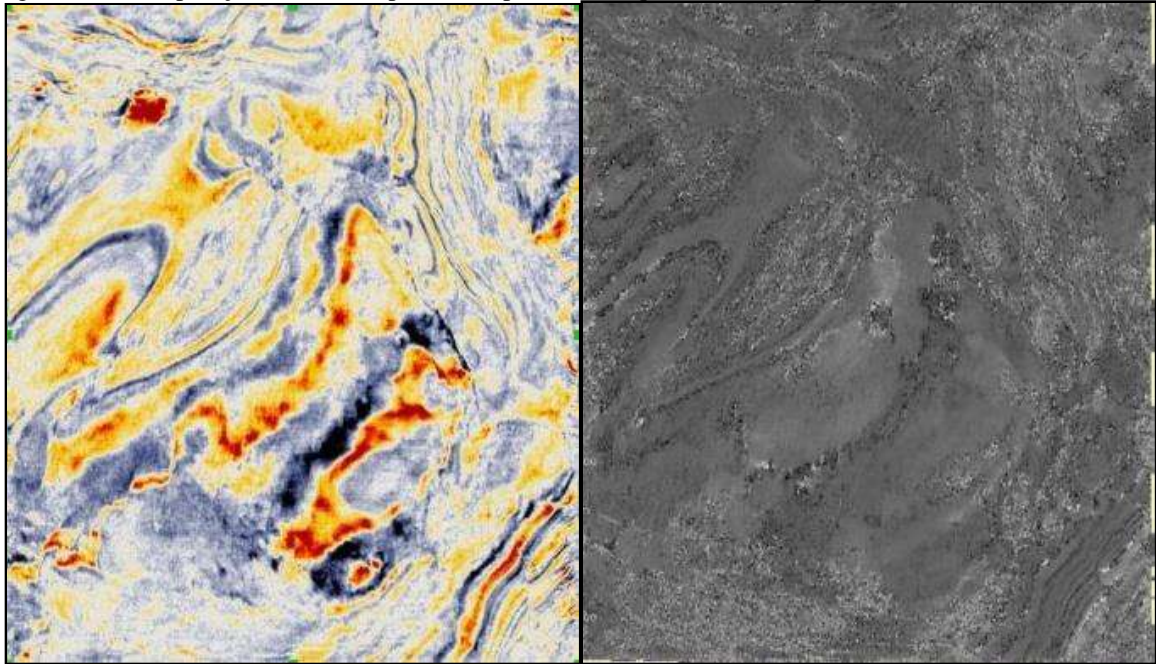


Legenda: Percebe-se a riqueza de detalhe do Mapa de Similaridade em relação ao de Amplitude, no que tange a geologia estrutural

Fonte: A autora, 2011.

Quando comparado ao Mapa de Amplitude, o Mapa de Frequência Instantânea resalta as superfícies de deposição dos turbiditos, além das áreas fortemente falhadas. Esse mapa é importante para definir com precisão a área dos turbiditos e o Marco Azul, o que não se consegue facilmente através do Mapa de Amplitude (Figura 20).

Figura 20 – Comparação entre os mapas de Amplitude (à esquerda) e de Frequência Instantânea (à direita).



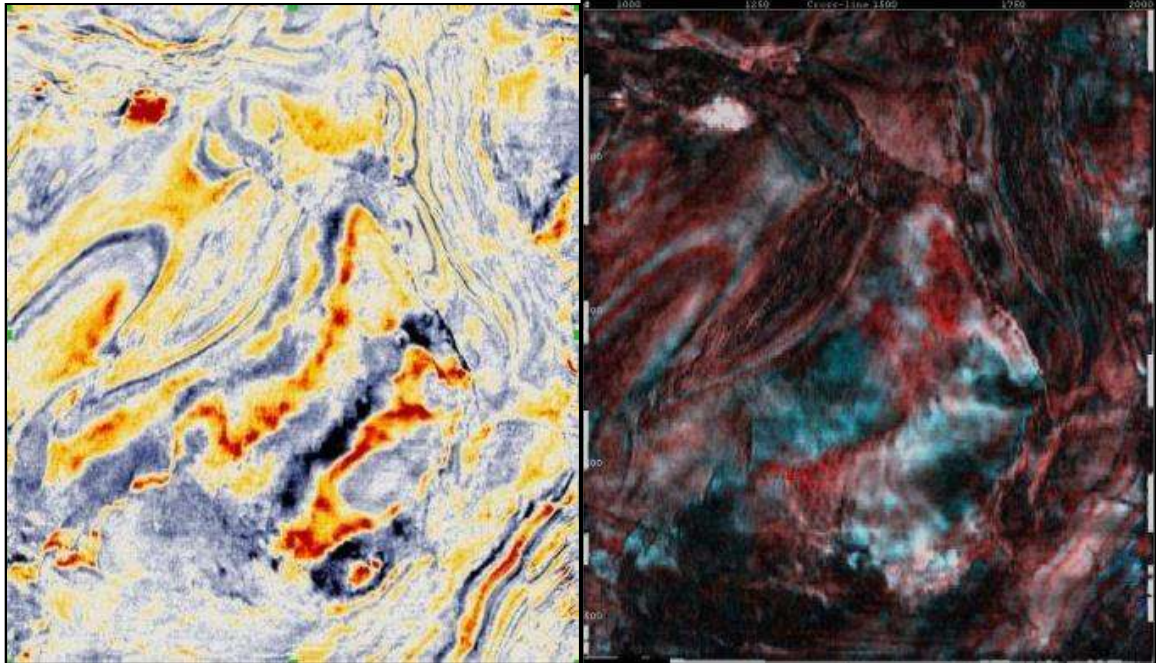
Legenda: No Mapa de Frequência Instantânea fica mais denotada a geologia estrutural e as superfícies de deposição dos turbiditos. No caso da superfície do Marco Azul a diferença é bem maior, pois seus limites ficam mais bem definidos.

Fonte: A autora, 2011.

Já na comparação com o Mapa de Frequências Combinadas (RGB) é possível notar um detalhamento muito mais fino das estruturas, sendo possível diferenciar os canais turbidíticos entre si, além de feições menores como possíveis *crevasses splay*.

Quando comparadas ao Mapa de Amplitude, tradicionalmente utilizados, o ganho de qualidade na interpretação se faz notar rapidamente (Figura 21).

Figura 21 – Comparação entre os mapas de Amplitude (à esquerda) e de Frequências Combinadas (à direita).

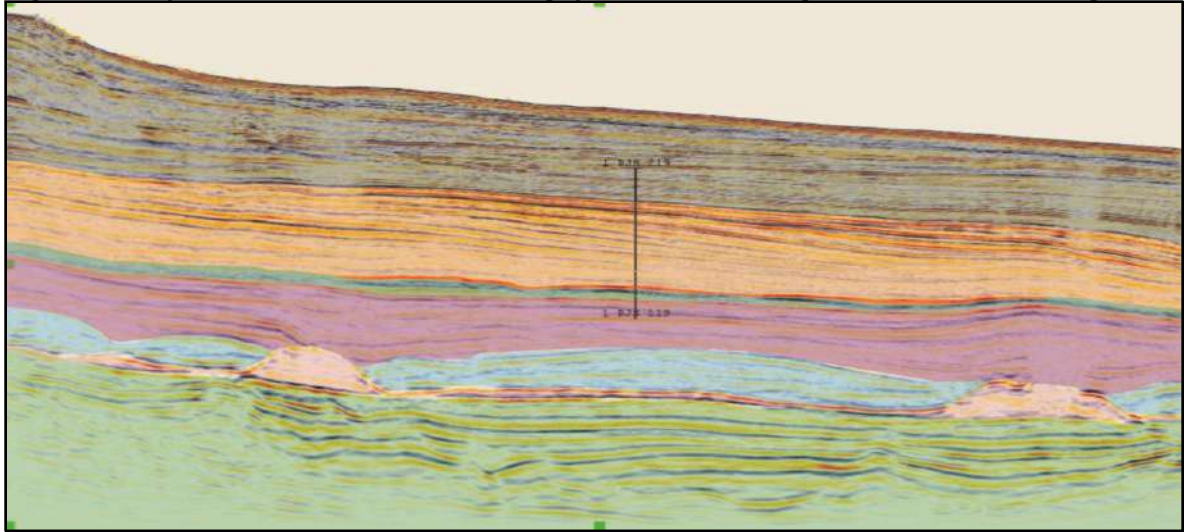


Fonte: A autora, 2011.

Antes da execução do detalhamento sísmico apresentado neste trabalho foi realizado um estudo prévio delimitando as sequências de interesse para a interpretação. Procurou-se nestas seções separar as grandes feições que pudessem ser observadas nos diferentes mapas geofísicos construídos. Para tanto se separou os intervalos de interesse em: sedimentos abaixo do sal, o sal, os carbonatos pós-sal, os sedimentos entre o topo do carbonato e a base do Marco Azul, os sedimentos pós Marco Azul até o topo do Marlim, a sequência Oligo-Miocênica pós Marlim, e por fim os sedimentos mais recentes.

Foram interpretados ainda os principais falhamentos que afetavam a seção, sendo estes utilizados para balizar o limite do subcubo sísmico utilizado para a interpretação (Figuras 22 e 23), definindo assim a área contendo menor perturbação.

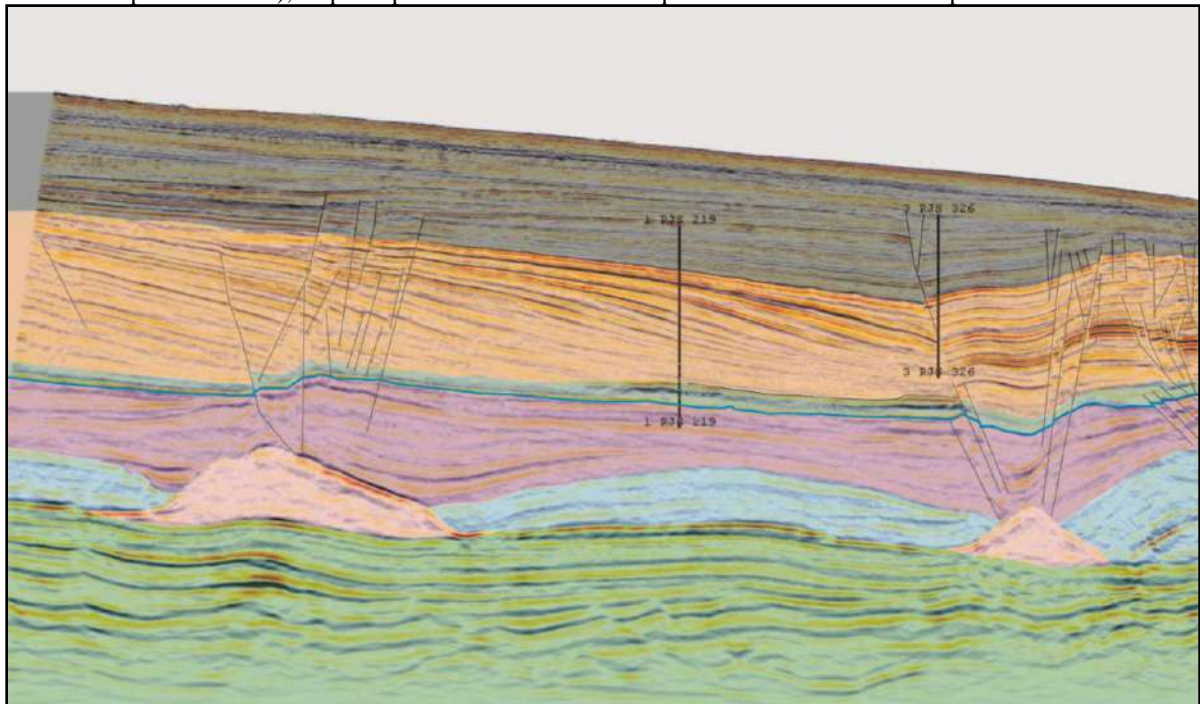
Figura 22 – Seção da Crossline 1554 mostrando o poço 1-RJS-219 e as seqüências sedimentares interpretadas.



Legenda (da base para o topo): verde - sedimentos abaixo do sal, rosa claro - o sal, azul claro - os carbonatos pós-sal, violeta - os sedimentos entre o topo do carbonato e a base do Marco Azul, azul escuro - os sedimentos pós Marco Azul até o topo do Marlim, laranja - a seqüência Oligo-Miocênica pós Marlim, cinza escuro - os sedimentos mais recentes.

Fonte: A autora, 2011.

Figura 23 – Seção da Inline 326, mostrando os poços 1-RJS-219 (linha preta a esquerda) e 3-RJS-326 (linha preta a direita), os principais falhamentos e as seqüências sedimentares interpretadas.



Legenda (da base para o topo): verde - sedimentos abaixo do sal, rosa claro - o sal, azul claro - os carbonatos pós-sal, violeta - os sedimentos entre o topo do carbonato e a base do Marco Azul, azul escuro - os sedimentos pós Marco Azul até o topo do Marlim, laranja - a seqüência Oligo-Miocênica pós Marlim, cinza escuro - os sedimentos mais recentes.

Fonte: A autora, 2011.

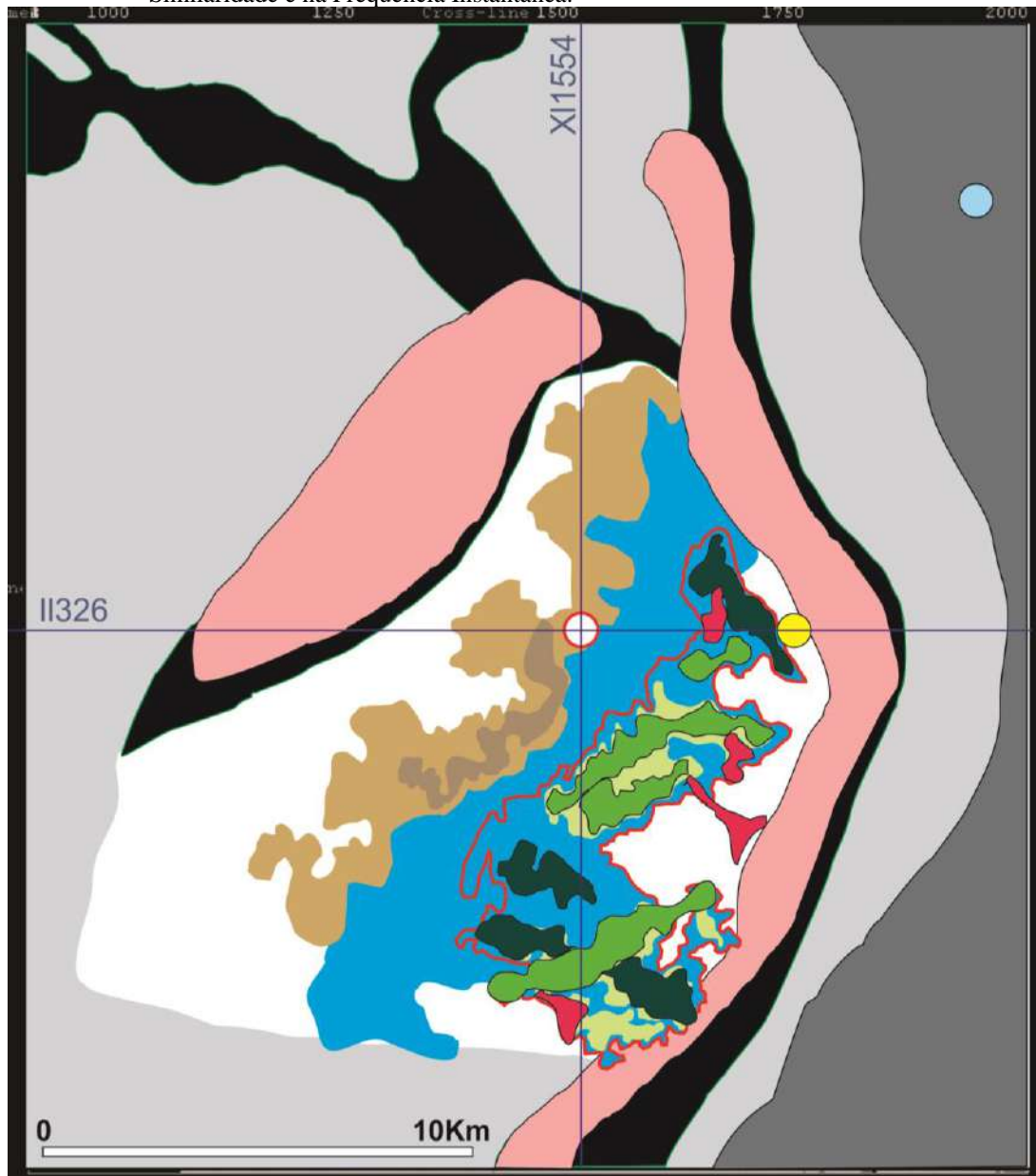
Partindo-se dos resultados obtidos através dos mapas geofísicos construídos, cruzando-se essas informações com as obtidas nas seções sísmicas interpretadas e, por fim,

refinando-se esta interpretação com os dados obtidos nos poços; foi construído um mapa idealizado com as principais feições geológicas observadas no *time slice* utilizado (2864).

Na Figura 24 é possível notar que apenas uma pequena área central da imagem não se apresenta deformada permitindo uma interpretação paleoambiental correta. As áreas circundantes apresentam um intenso falhamento resultante do tectonismo halocinético.

Na área central não deformada é possível observar a presença de dois conjuntos associados à turbiditos, separados entre si por um conjunto de refletores com características sísmicas muito particulares que foi associado ao Marco Azul. O conjunto de turbiditos observados a norte do Marco Azul, correspondentes nas seções sísmicas aos sedimentos subjacentes a este marco, apresentam canais meandriformes facilmente visualizáveis. O sul do Marco Azul observou os turbiditos relacionados ao Campo de Marlim. Nestes é possível notar a existência de canais de idades diferentes, bem como outras feições como *crevasses splay*.

Figura 24 – Modelo gerado: Mapa de Interpretação Geológica, realizado após o cruzamento dos resultados obtidos nas seções sísmicas, na Decomposição Espectral CWT, na Similaridade e na Frequência Instantânea.



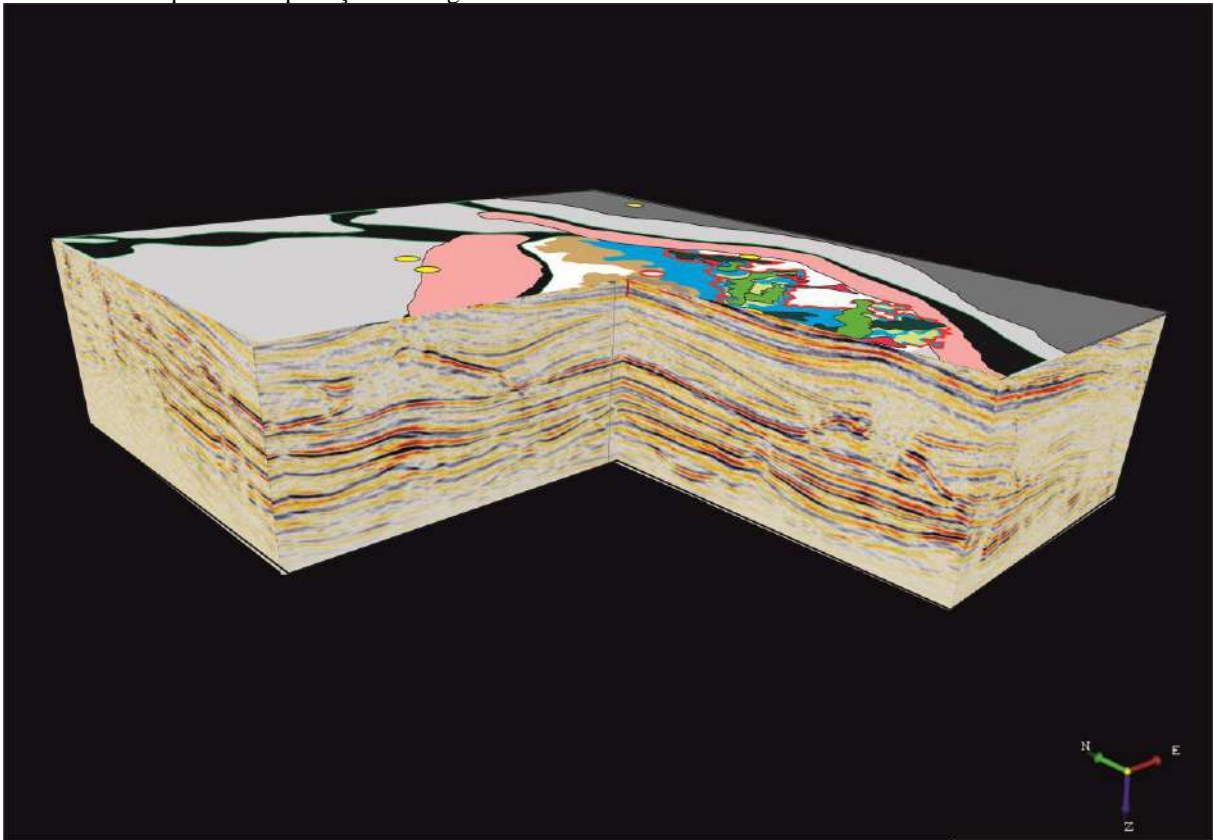
LEGENDA

DATALHE DOS CORPOS		TECTÔNICA	
■	Crevasses Splay		Área não Deformada
■	Turbiditos Marlim - canais mais recentes		Alto Formado Pelo Sal
■	Turbiditos Marlim - canais mais antigos		Área Intensamente Falhada
■	Turbiditos Marlim - sedimentos finos		Área Abatida Pelas Falhas
TURBIDITOS			Inversão Estrutural
	Área de ocorrência dos turbiditos Marlim	POÇOS	
	Marco Azul e sedimentos pré Marlim		1-RJS-356-RJ
	Área de ocorrência dos turbiditos pré Marco Azul (a área em destaque corresponde aos canais principais)		3-RJS-326-RJ
			1-RJS-219A-RJ

Fonte: A autora, 2011.

A comprovação da interpretação é apresentada na Figura 25 onde o mapa interpretado é sobreposto as seções sísmicas que delimitam o subcubo sísmico. Neste bloco diagrama nota-se que a *time slice* referente a base dos turbiditos de Marlim apresenta apenas uma pequena área passível de interpretação devido a intensa tectônica do sal.

Figura 25 – Bloco diagrama mostrando as feições observadas nas seções sísmicas interpretadas associadas ao Mapa de Interpretação Geológica.



Fonte: A autora, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande problema do estudo sísmico sempre foi referenciado a baixa qualidade dos dados obtidos, mesmo quando os dados sísmicos são de excelente qualidade como os retratados neste trabalho, onde ainda assim observa-se uma perda referente aos corpos menores ou próximos ao limite da resolução sísmica devido à sobreposição das amplitudes (efeito de *tuning*).

A utilização da decomposição espectral permite retirar o efeito de *tuning* possibilitando obter um maior detalhamento dos corpos.

A transformação matemática é aplicada para se obter informações que não se encontram imediatamente disponíveis no sinal “bruto” (sísmica no domínio do tempo). Passando este sinal para o domínio da frequência se obtêm uma representação amplitude-frequência do sinal, ressaltando assim a maior parte da informação antes escondida pelo efeito de *tuning*.

Técnicas de interpretação sísmica utilizando-se atributos sísmicos frequentemente utilizam a FFT (Fast Fourier Transform) para o tratamento dos dados. Ao contrário da FFT, que utiliza para sua construção uma janela de tempo definida pelo usuário de forma empírica, a CWT (Continuous Wavelet Transform) utiliza-se de uma ondulação padrão que é adaptativa a qualquer escala, sendo esta, uma janela natural para sinais geológicos que requeiram maior resolução.

A CWT aproveita a maior parte do sinal “bruto”, permitindo um maior detalhamento das estruturas de menor espessura e destacando feições de interesse não visualizadas de forma tradicional, inibindo o erro do usuário que ocorre na análise FFT.

A construção do Mapa de Frequências Combinadas foi realizada com as frequências 10, 50 e 90 Hz que se mostraram as mais apropriadas ao intervalo estudado. Com base nesse mapa, foi realizada a interpretação geológica através do cruzamento dos dados obtidos com a CWT, com a Similaridade e com a Frequência Instantânea, o que ressaltou lineamentos e superfícies de deposição.

O detalhamento estratigráfico do Campo de Marlim mostrou diferentes fases deposicionais mostrando canais mais antigos cortados pelos mais recentes e a presença de *crevasses splays* que indicam a direção de fluxo dentro de alguns canais.

REFERÊNCIAS

- BACON, M.; SIMM, R.; REDSHAW, T., 2007. 3-D seismic interpretation. Cambridge University Press. 225 p.
- BROWN, A.R., 2004. Interpretation of three-dimensional seismic data. AAPG Memoir 42 – SEG Investigations in geophysics No 9 – 6th edition. 541 p.
- CANDIDO; A.; CORA; C.A.G., 1989. The Marlim and Albacora giant fields, Campos Basin, offshore Brazil. p. 123-135 In: Edwards, J. D. & Santogrossi, P. A. (ed.) Divergent / Passive Margin Basins. Tulsa, AAPG, (Memoir 48), p. 3-79.
- CHOPRA, S.; MARFURT, K. J., 2008. Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. SEG geophysical developments series, No 11, 464 p.
- DALLEY, D., 2010. Why frequency decomposition is just like colour photography. First Break, vol. 28, June, p.113-116.
- FILPO, E.; RITTER, G.; PIMENTEL, M., 1999. Analysis of seismic processing influence on Marlim field 4D: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Extended Abstracts, p. 1-6.
- GAMBOA L.A.P., ESTEVES F.R., SHIMABUKURU S., CARMINATTI, M., PERES W. E., SOUZA CRUZ C.E. 1986. Evidências de variações de nível do mar durante o Oligoceno e suas implicações faciológicas. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais, v. 1, p.8-2.
- GUARDADO, L. R.; GAMBOA, L. A. P.; LUCCHESI, C. F., 1989. Petroleum geology of the Campos Basin, Brazil, a model for a producing Atlantic-type basin. In: Edwards, J. D. & Santogrossi, P. A. (ed.) Divergent / Passive Margin Basins. Tulsa, AAPG, (Memoir 48), p. 3-79.
- GUO, H.; MARFURT, K.J.; LIU, J., 2009. Principal component spectral analysis. Geophysics, Vol. 74, No. 4, p. 35-43.
- JOHANN, P.; SANSONOWSKI, R.; OLIVEIRA, R.; BAMPI, D., 2009. 4D seismic in a heavy-oil, turbidite reservoir offshore Brazil. The Leading Edge, p. 718-729.
- MAIA, W.; RÚBIO, R.; JUNIOR, F.; HALDORSEN, J.; GUERRA, R.; DOMINGUEZ, C., 2006. First Borehole Acoustic Reflection Survey Mapping a Deepwater Turbidite Sand. SEG Annual Meeting, p. 1757-1761.
- PARTIKA, G.; GRIDLEY, J.; LOPEZ J., 1999. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization. The Leading Edge, p. 353-360.

PERES, W.E., 1993. Shelf-fed turbidite system model and its application to the Oligocene deposits of the Campos Basin, Brazil. AAPG Bulletin, V.77, p. 81-101.

SANSONOWSKI, R.C.; DE OLIVEIRA, R.M.; RIBEIRO JÚNIOR, N.M.S; BAMPI, D.; JUNIOR, L.F.C., 2007. 4D Seismic Interpretation in the Marlim Field, Campos Basin, Offshore Brazil. SEG Annual Meeting, p. 2872-2877.

SILVA, C.C.; MARCOLINO, C.S.; LIMA, F.D., 2005. Automatic fault extraction using ant tracking algorithm in the Marlim south field, Campos Basin. SEG Annual Meeting, p. 857-861.

SINHA, S.; ROUTH, P. S.; ANNO, P.D.; CASTAGNA, J.P., 2005. Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform. Geophysics, Vol. 70, No. 6, p. 19-25.

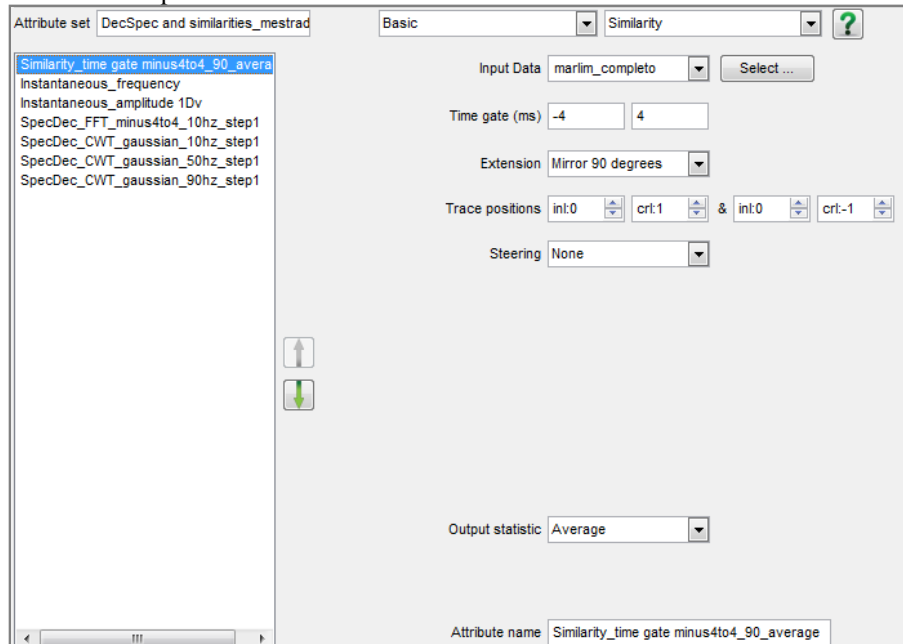
TIGRE, C.A.; CORÁ, C.A.G.; CANDIDO, A., 1990. Campos de petróleo em águas profundas na costa brasileira – privilégio da Bacia de Campos? *In*: PETROBRAS, Seminário de Geologia de Desenvolvimento e Reservatório, 4, Natal, Anais, p. 478-489.

WINTER, W.R.; JAHNERT, R.J.; FRANÇA, A.B., 2007. Bacia de Campos. *In*: Boletim de Geociências da Petrobrás - v. 15, n. 2 - maio/nov., p. 511-529.

ZABIR HOSSAIN, S.M., 2009. Detecting thin sedimentary strata and predicting hydrocarbon potentiality using spectral decomposition in a area of the Malay Basin, the Gulf of Thailand. Dissertação de Mestrado - Chang Mai University, p. 96.

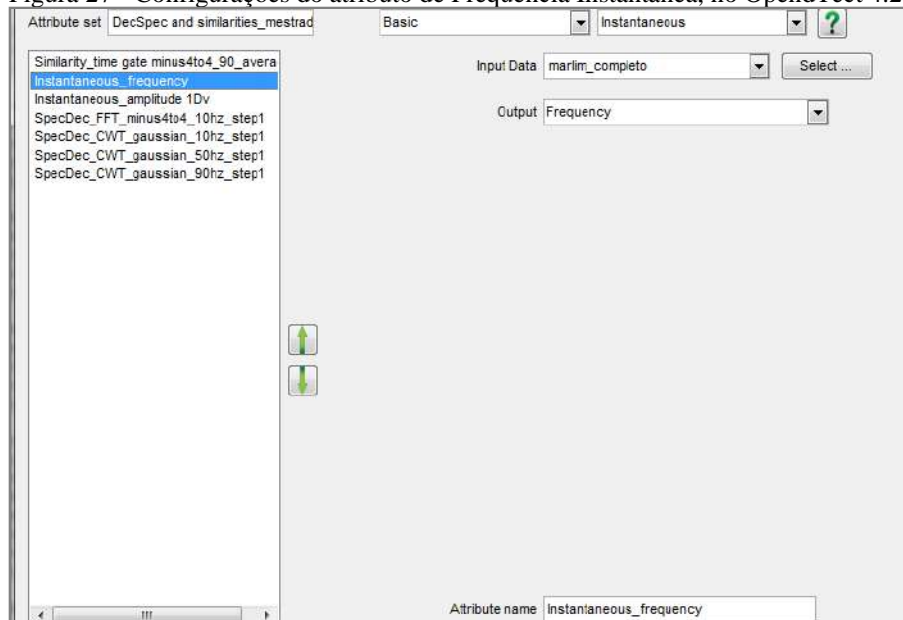
APÊNDICE A – Atributos sísmicos 3D calculados no software OpendTect 4.2

Figura 26 – Janela de busca e outras configurações do atributo de Similaridade, no OpendTect 4.2.



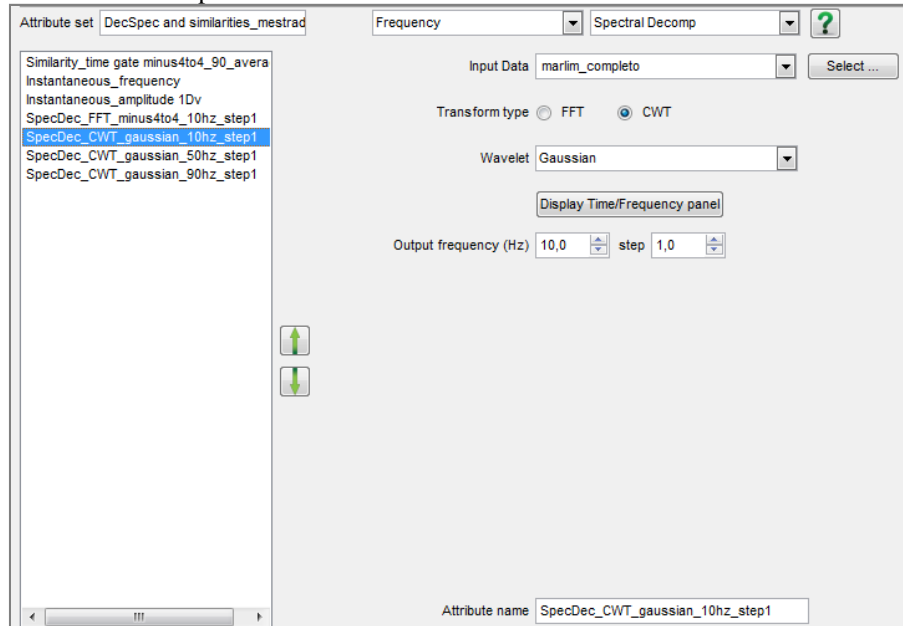
Fonte: A autora, 2011.

Figura 27 - Configurações do atributo de Frequência Instantânea, no OpendTect 4.2.



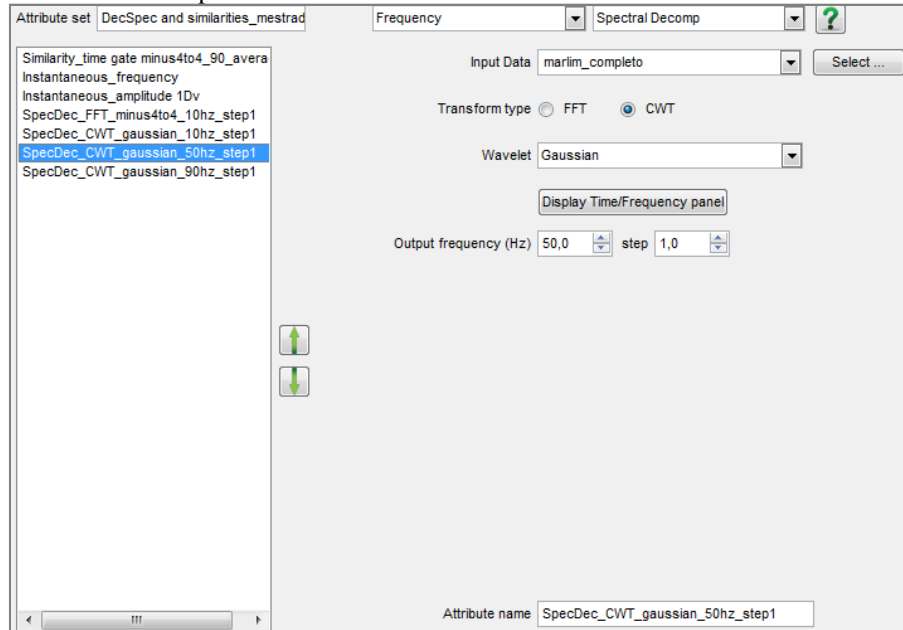
Fonte: A autora, 2011.

Figura 28 - Configurações do atributo de Decomposição Espectral usando transformada de Fourier do tipo CWT, na frequência de 10Hz, no OpendTect 4.2.



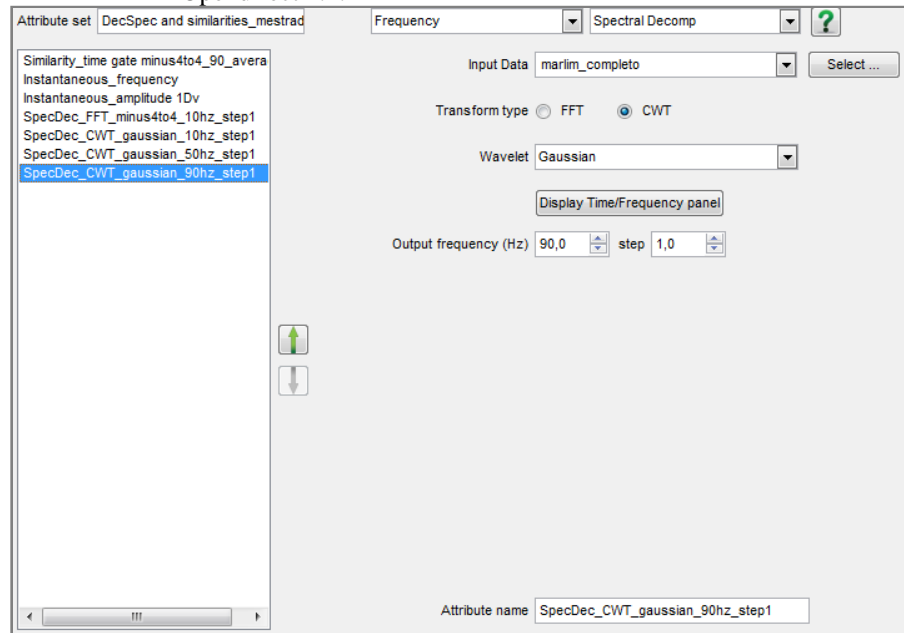
Fonte: A autora, 2011.

Figura 29 - Configurações do atributo de Decomposição Espectral usando transformada de Fourier do tipo CWT, na frequência de 50Hz, no OpendTect 4.2.



Fonte: A autora, 2011.

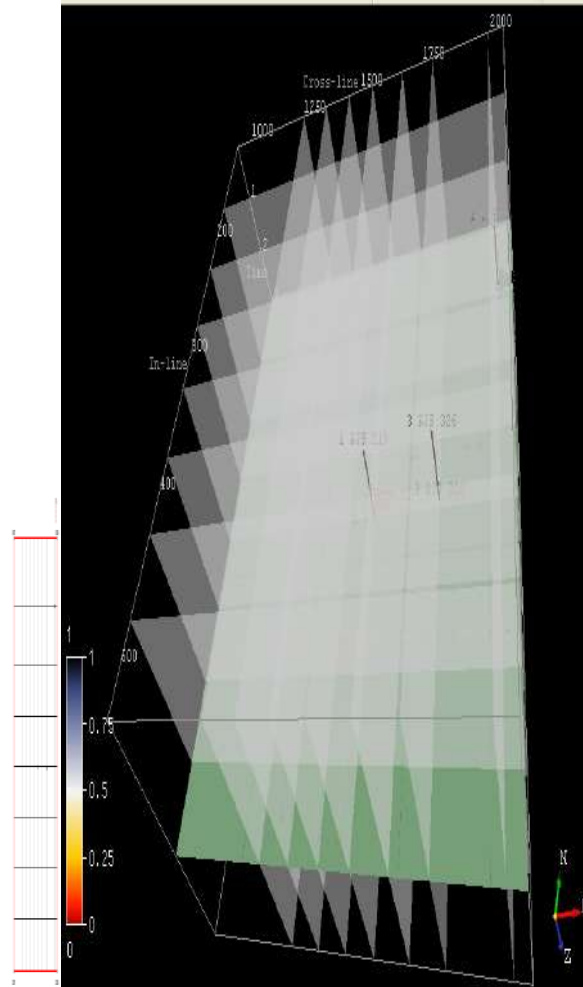
Figura 30 - Configurações do atributo de Decomposição Espectral usando transformada de Fourier do tipo CWT, na frequência de 90Hz, no OpendTect 4.2.



Fonte: A autora, 2011.

APÊNDICE B - Inlines e Crosslines do Campo de Marlim.

Figura 31 – Posicionamento das Inlines e Crosslines do Campo de Marlim utilizados nesse trabalho.

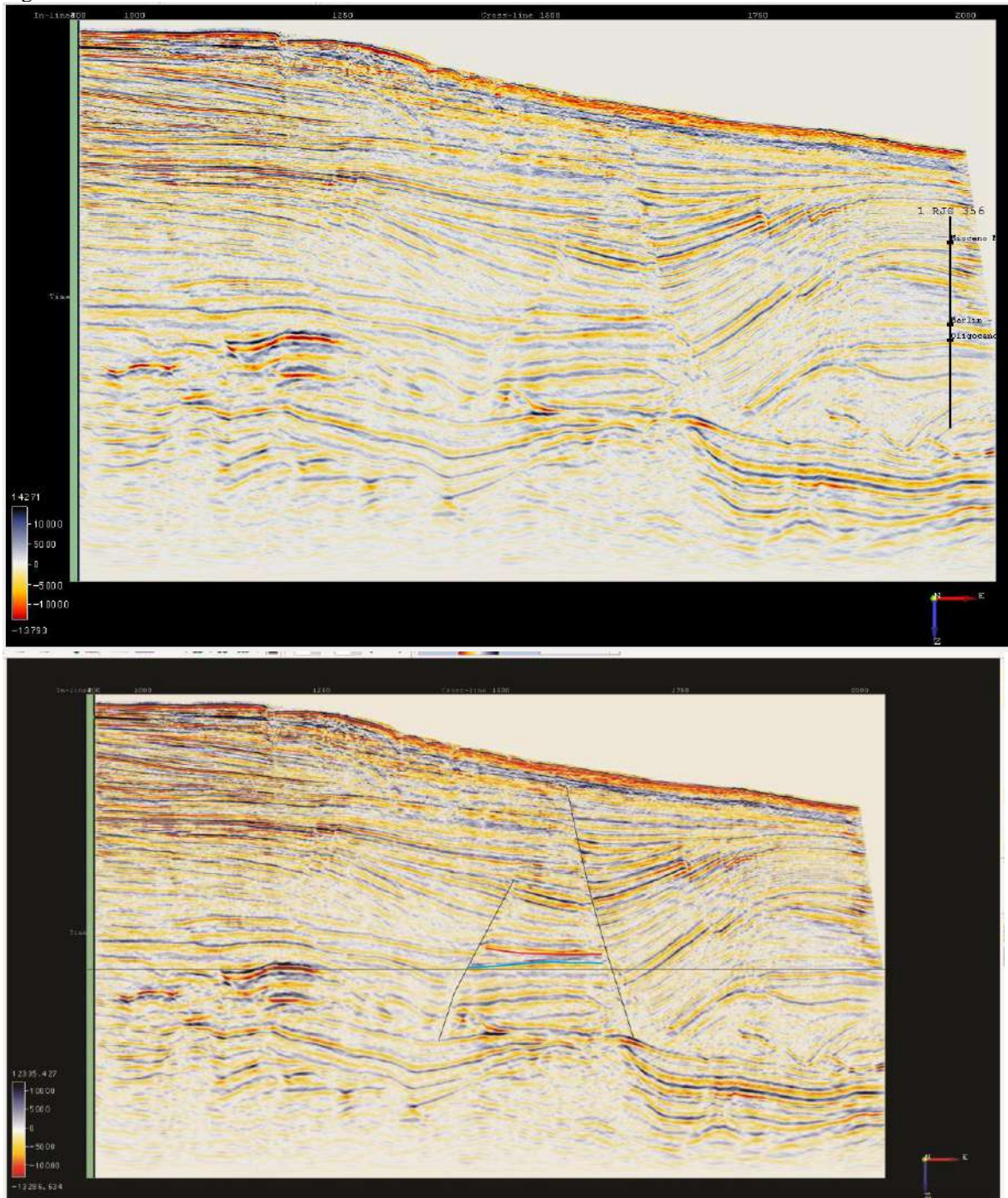


Fonte: A autora, 2011.

APÊNDICE C - Inlines (IL) sem e com interpretação do Marco Azul e do Campo de Marlim.

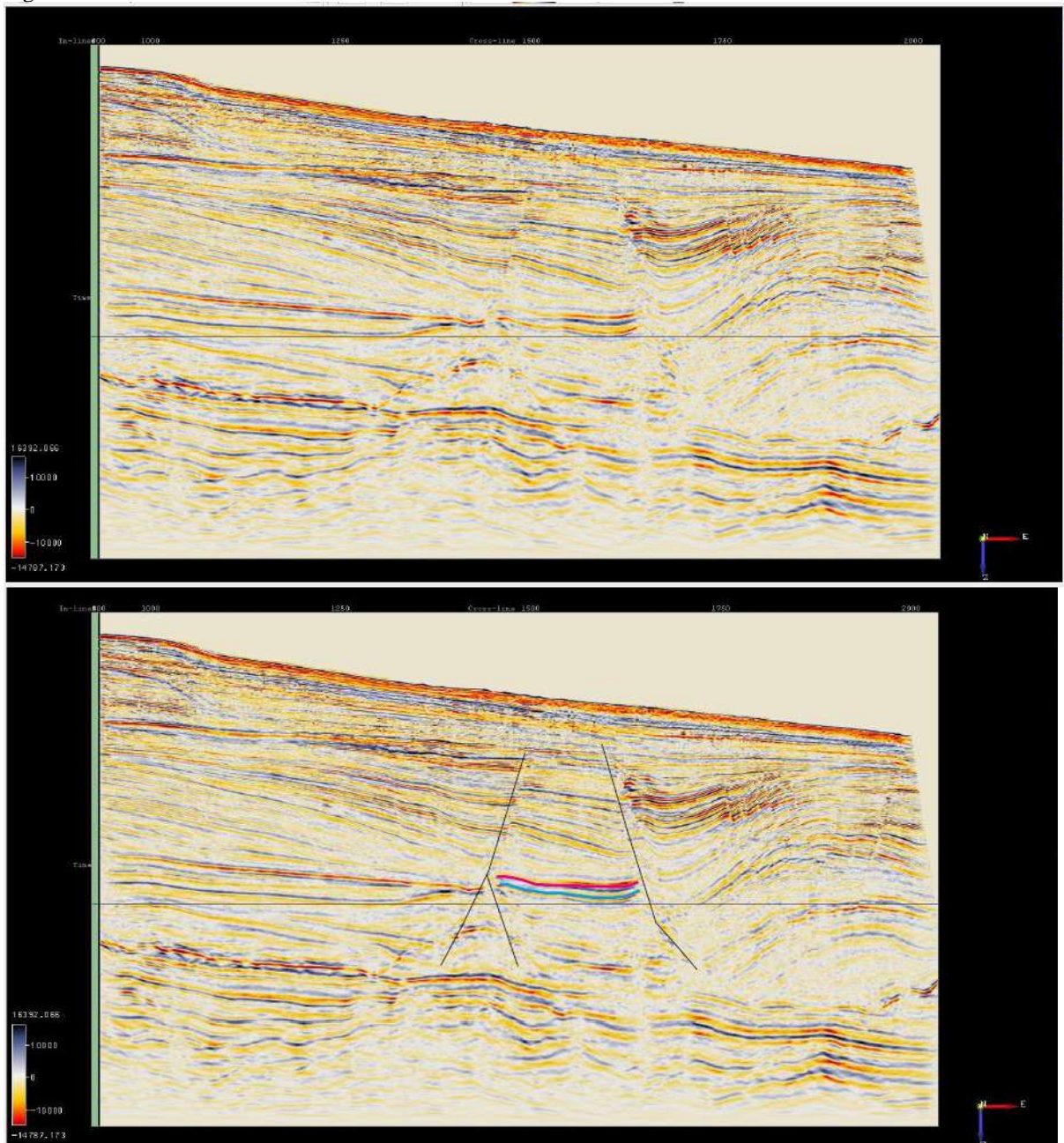
A linha preta que corta a linha sísmica horizontalmente em todas as Inlines e Crosslines abaixo representa a *time slice* 2864. Todas as linhas sísmicas abaixo apresentam rosa dos ventos e barra de cores de amplitude (azul para altas amplitudes, vermelho para as baixas e branco para zero). Elas foram selecionadas de forma a abarcar os três poços utilizados, as falhas principais, e a região central contendo os depósitos de Marlim (linha rosa) e o Marco Azul (linha azul). Aqui apresenta-se a interpretação apenas na área não deformada.

Figura 32 – IL167



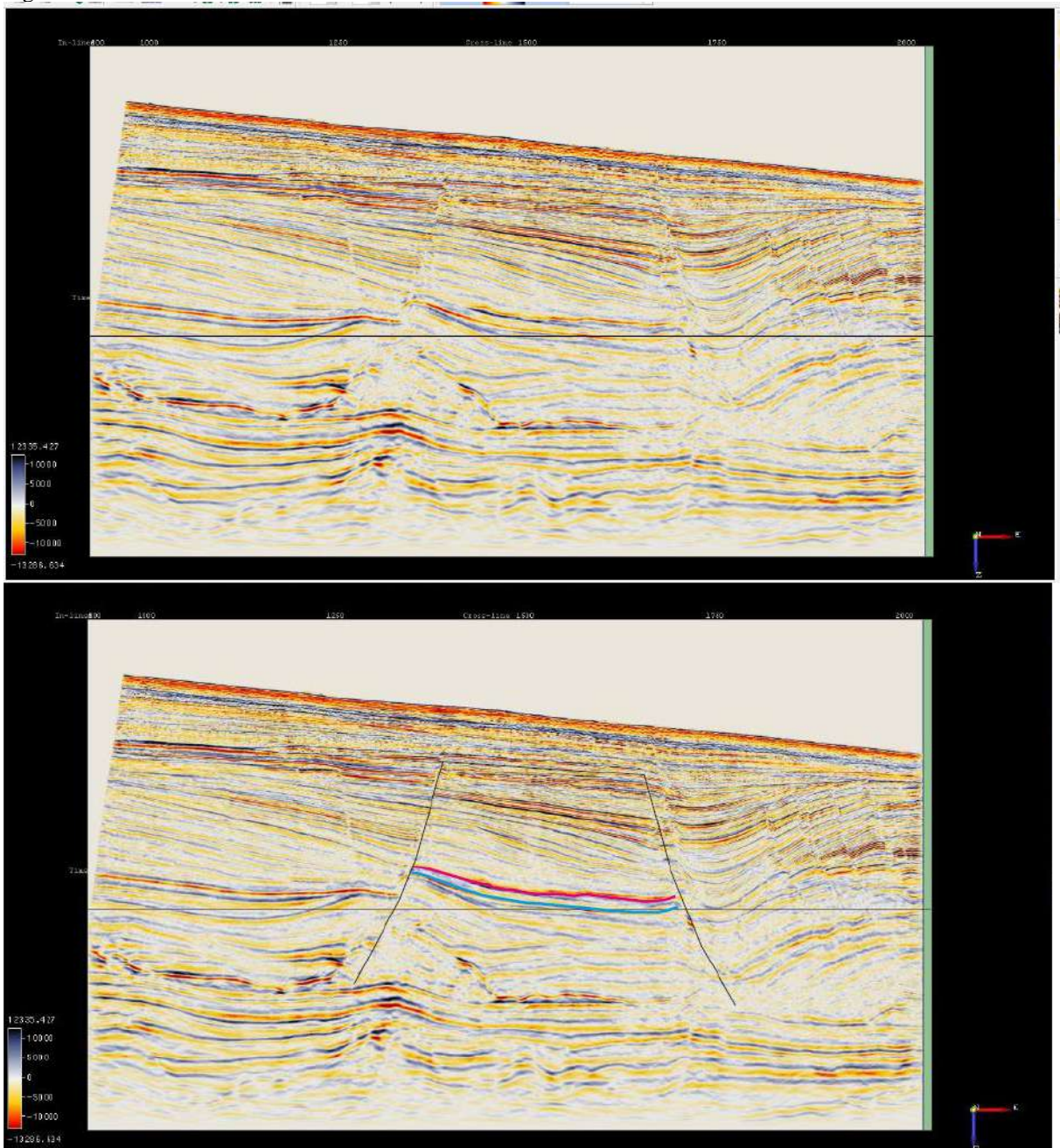
Fonte: A autora, 2011.

Figura 33 – IL226



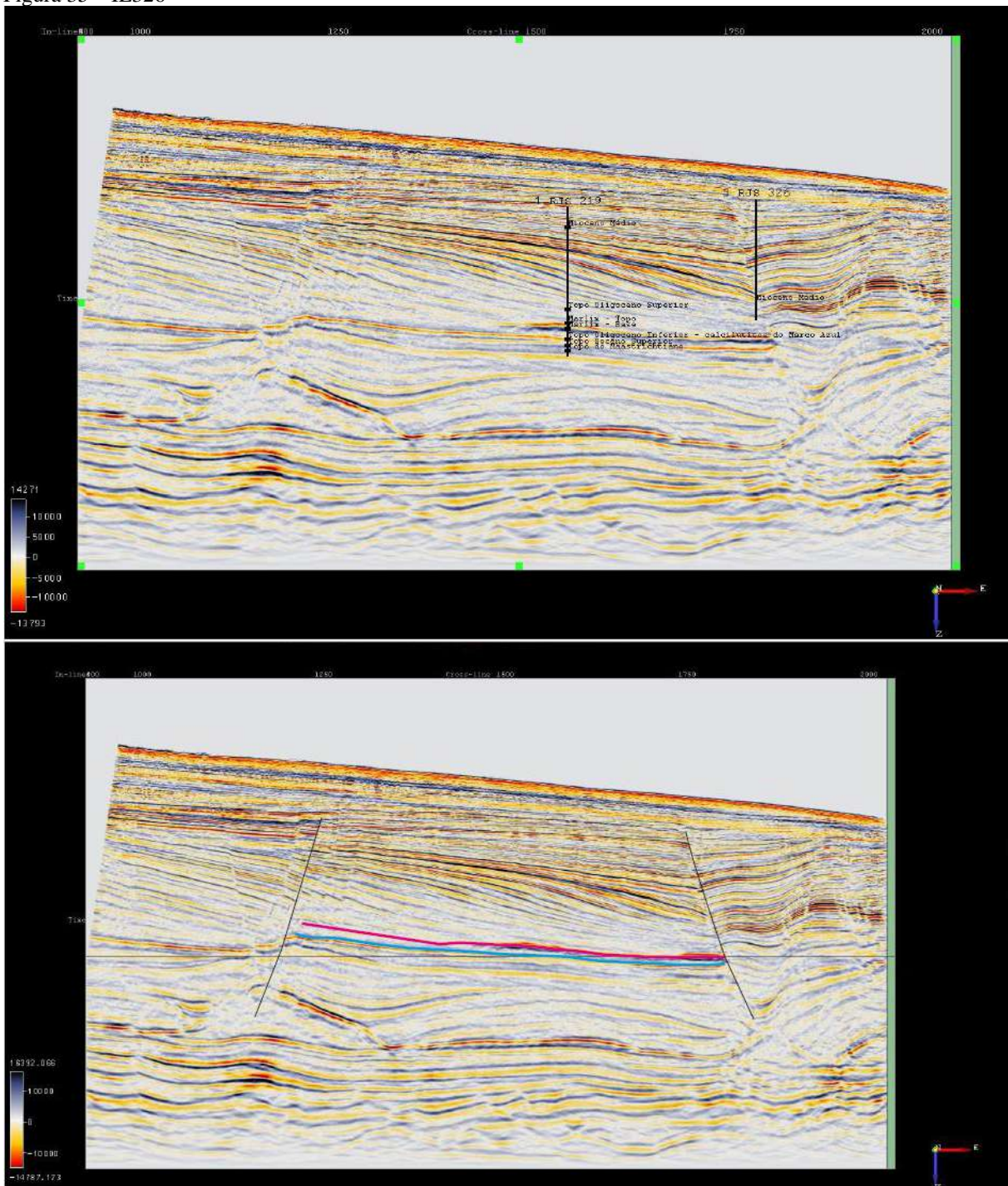
Fonte: A autora, 2011.

Figura 34 – IL276



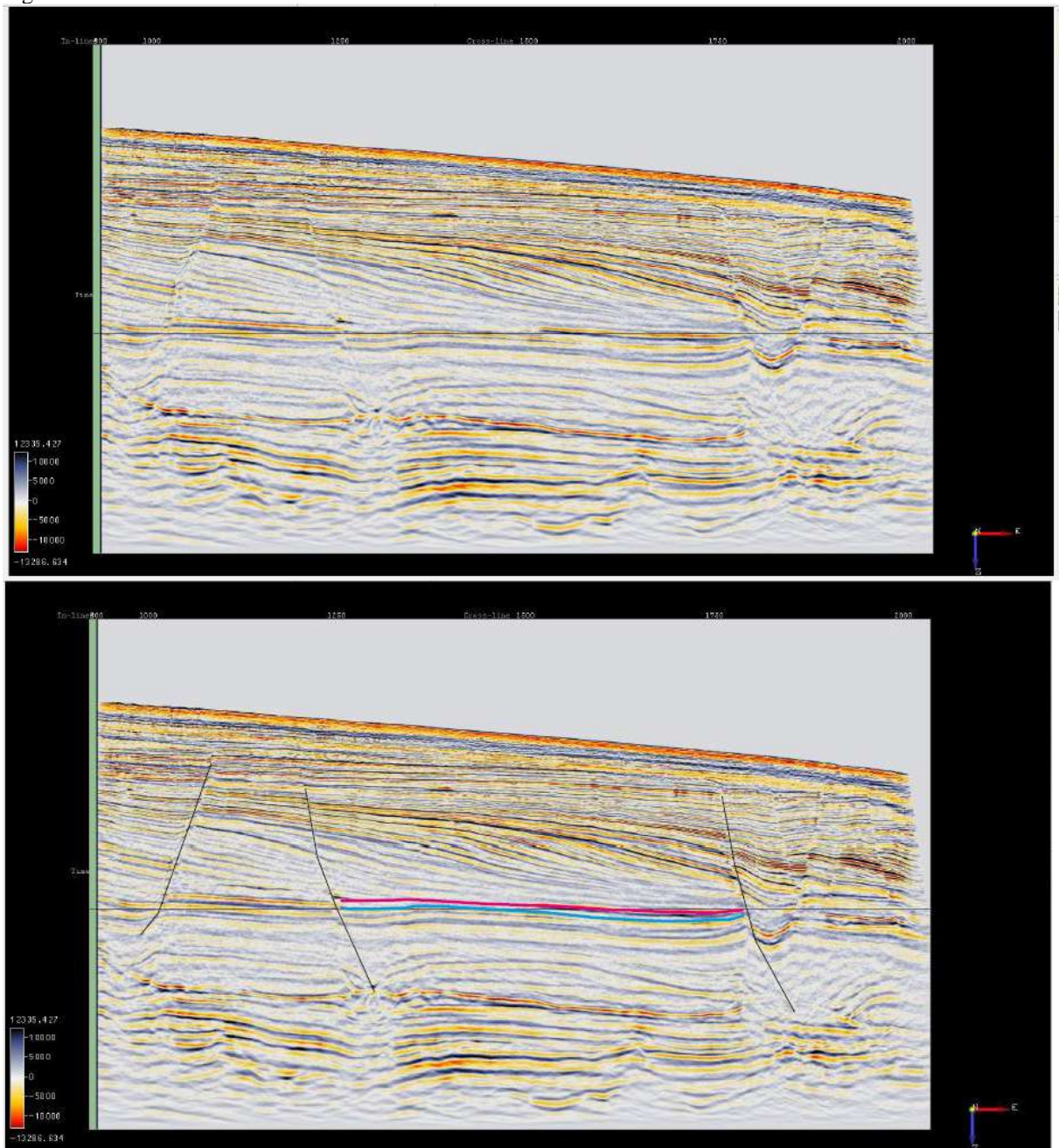
Fonte: A autora, 2011.

Figura 35 – IL326



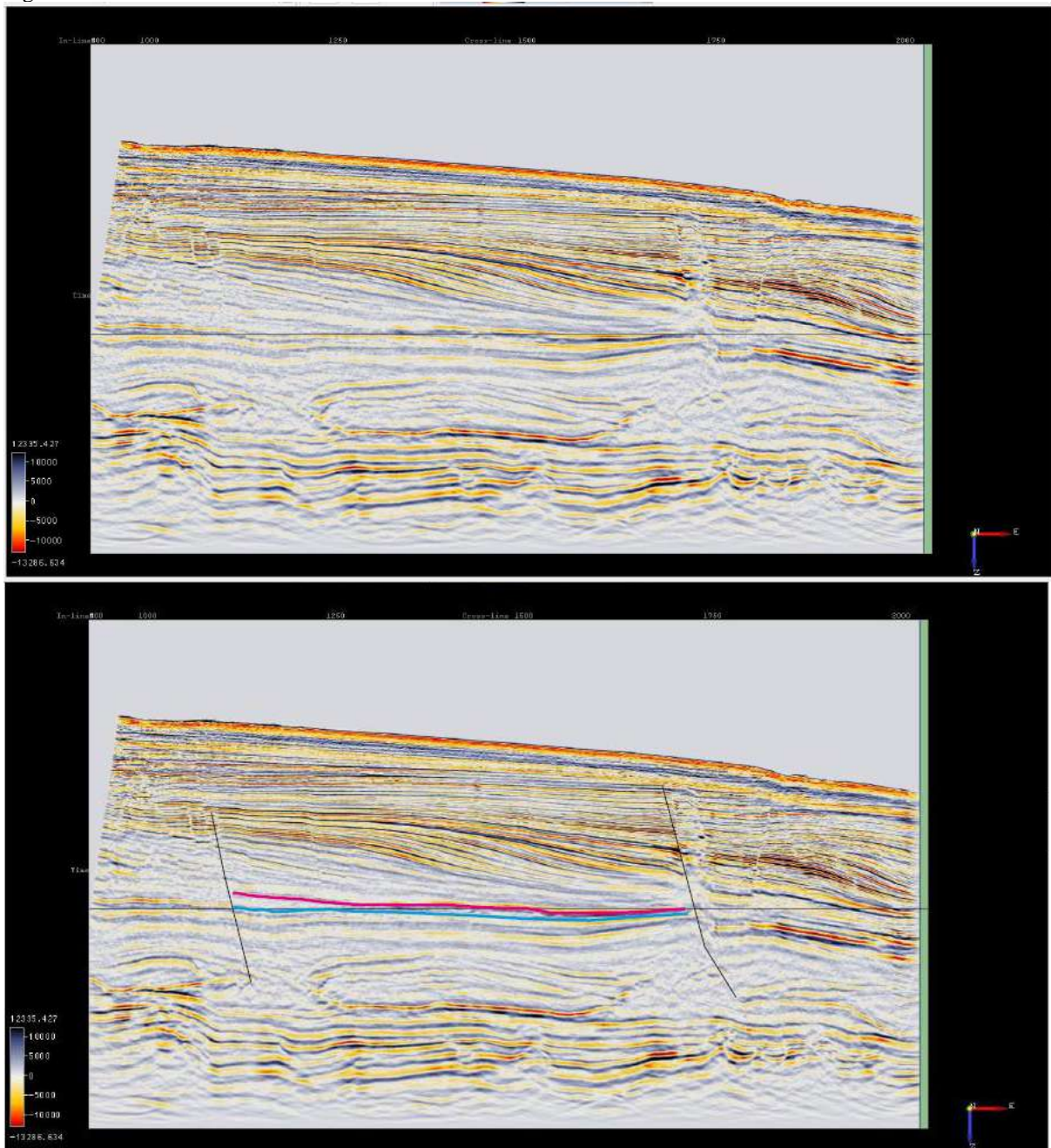
Fonte: A autora, 2011

Figura 36 – IL376



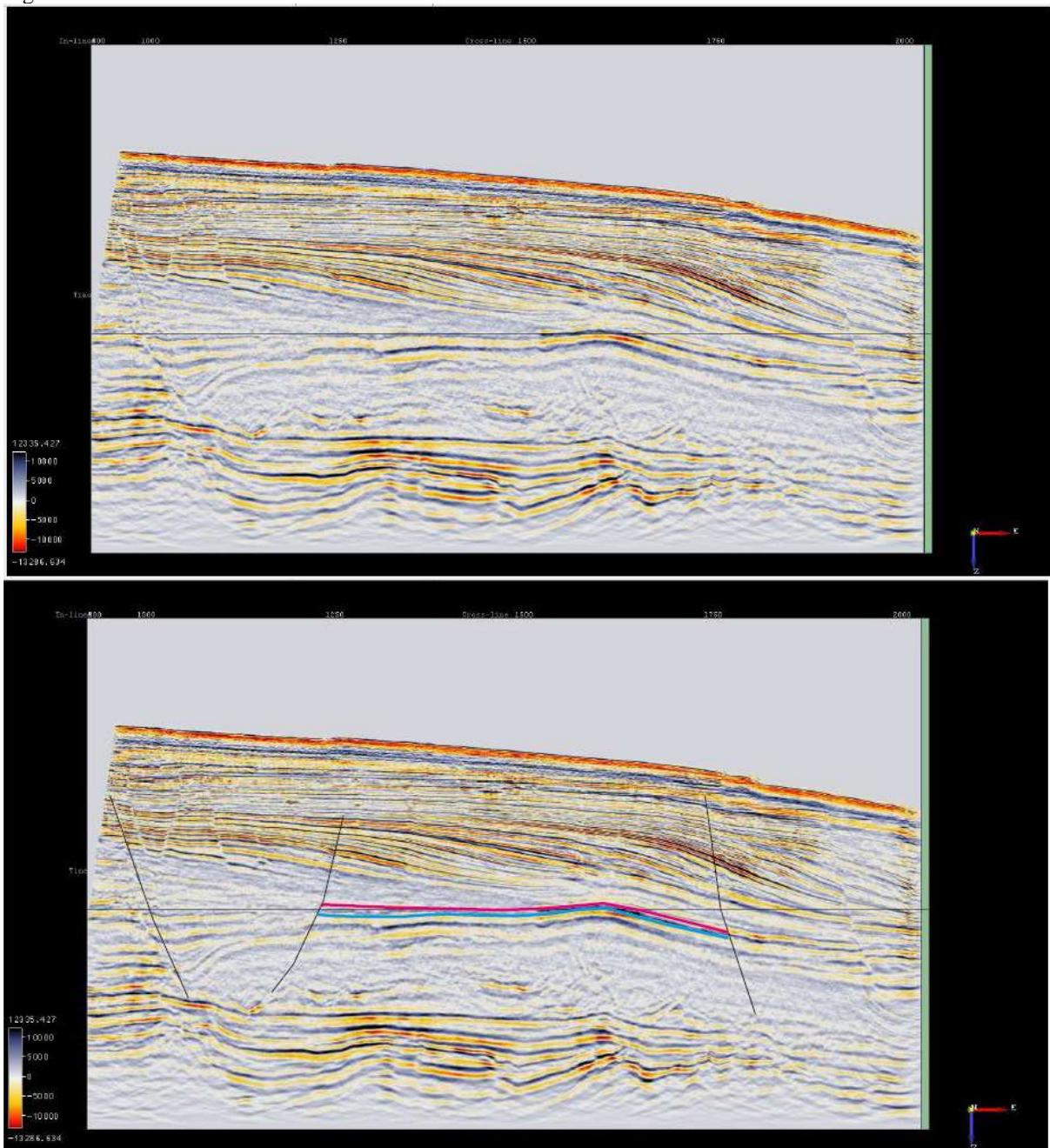
Fonte: A autora, 2011.

Figura 37 – IL426



Fonte: A autora, 2011.

Figura 38 – IL476

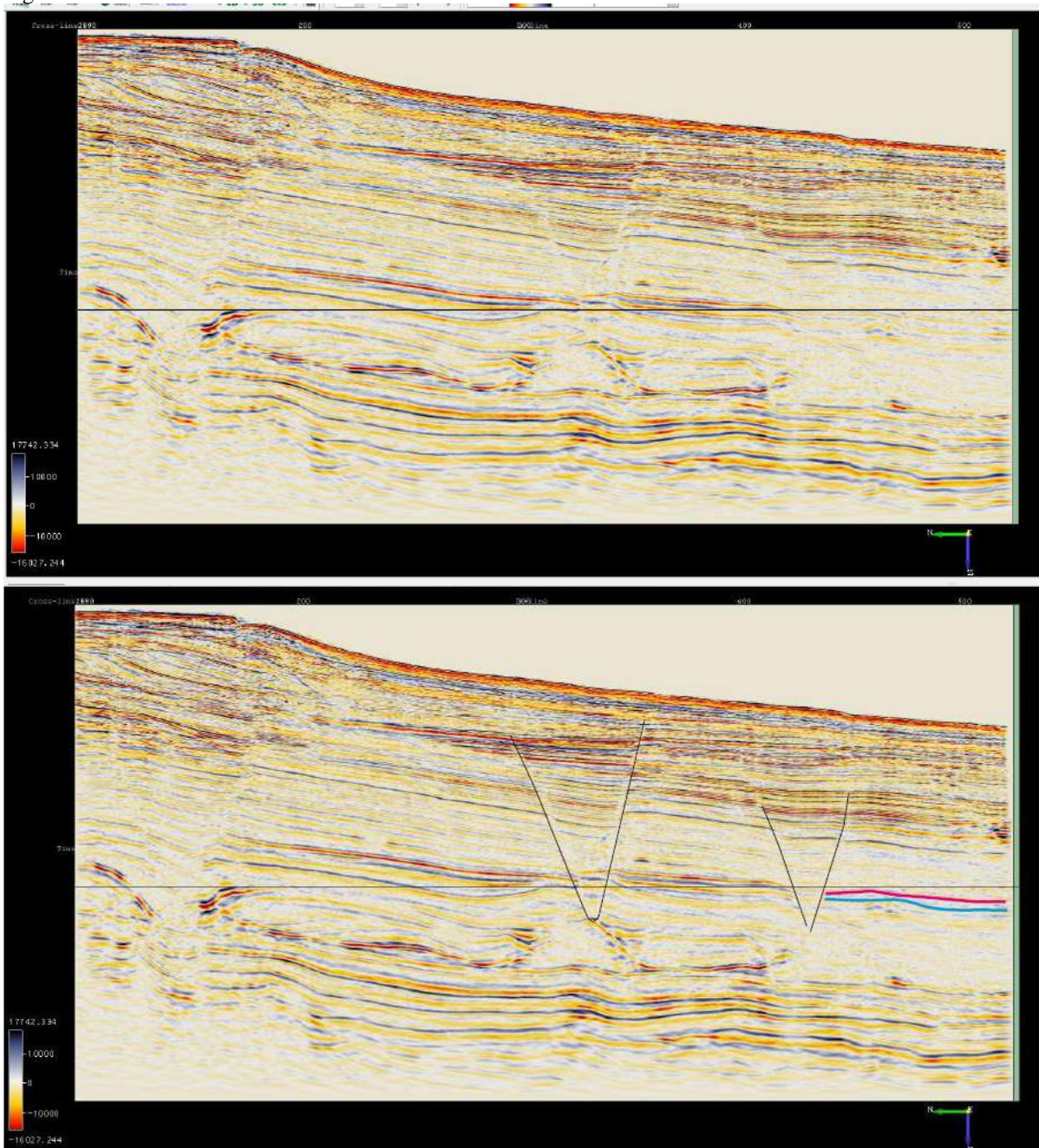


Fonte: A autora, 2011.

APÊNDICE D – Crosslines (XL) sem e com interpretação do Marco Azul e do Campo de Marlim.

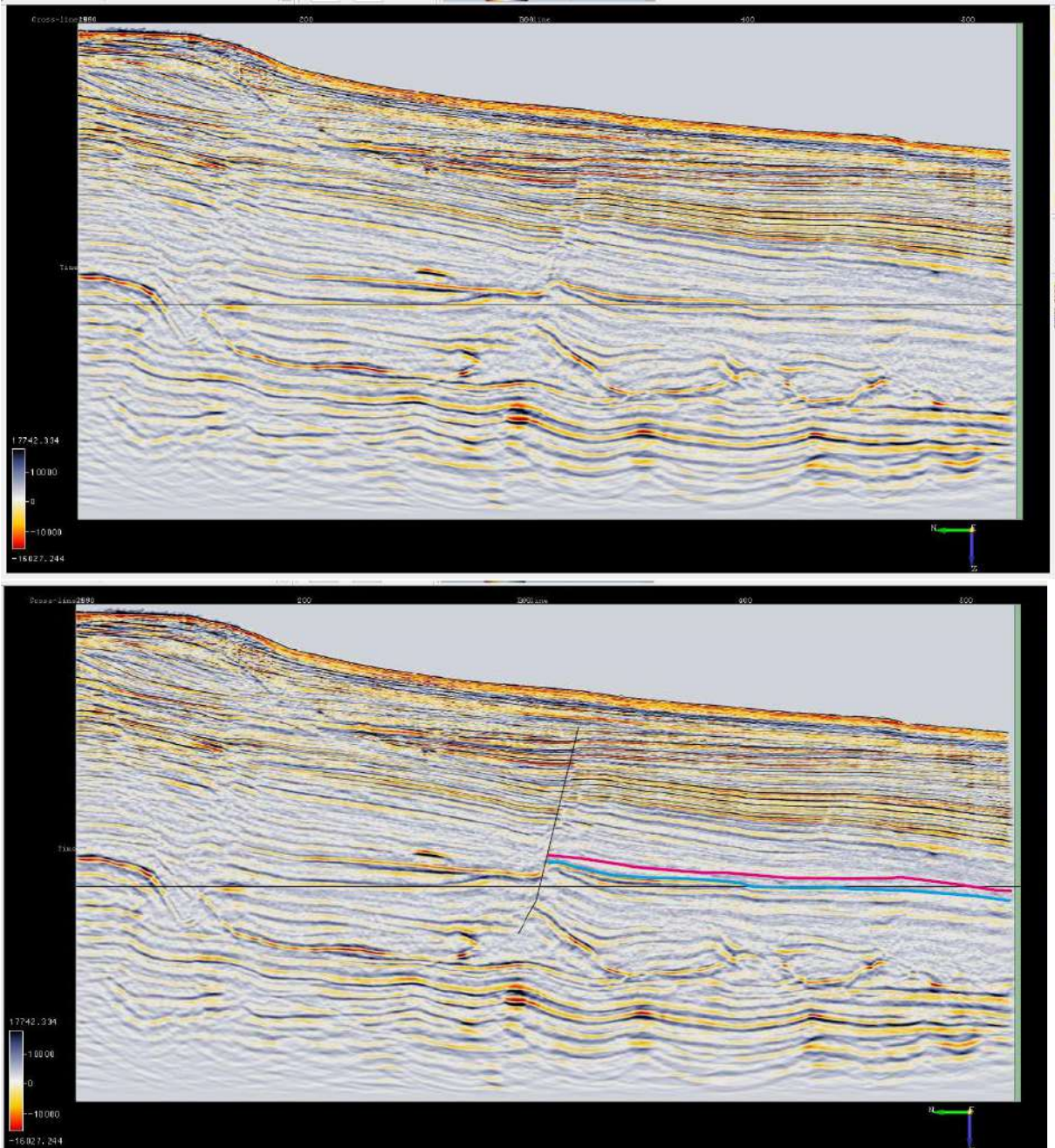
A linha preta que corta a linha sísmica horizontalmente representa a *time slice* 2864. Todas as linhas sísmicas abaixo apresentam rosa dos ventos e barra de cores de amplitude (azul para altas amplitudes, vermelho para as baixas e branco para zero). Elas foram selecionadas de forma a abarcar os três poços utilizados, as falhas principais, e a região central contendo os depósitos de Marlim (linha rosa) e o Marco Azul (linha azul). Aqui apresenta-se a interpretação apenas na área não deformada.

Figura 39 –XL1154



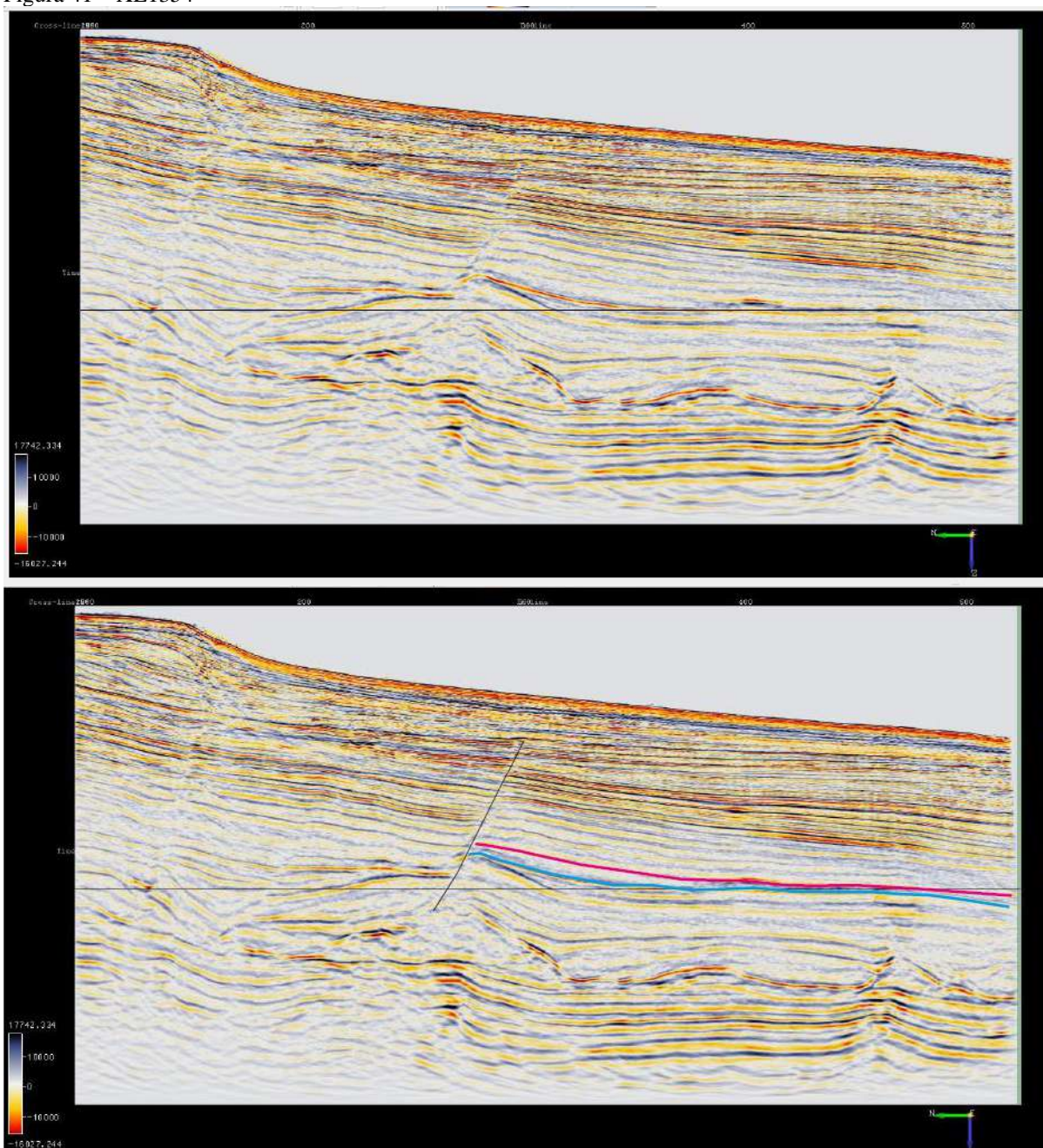
Fonte: A autora, 2011.

Figura 40 – XL1254



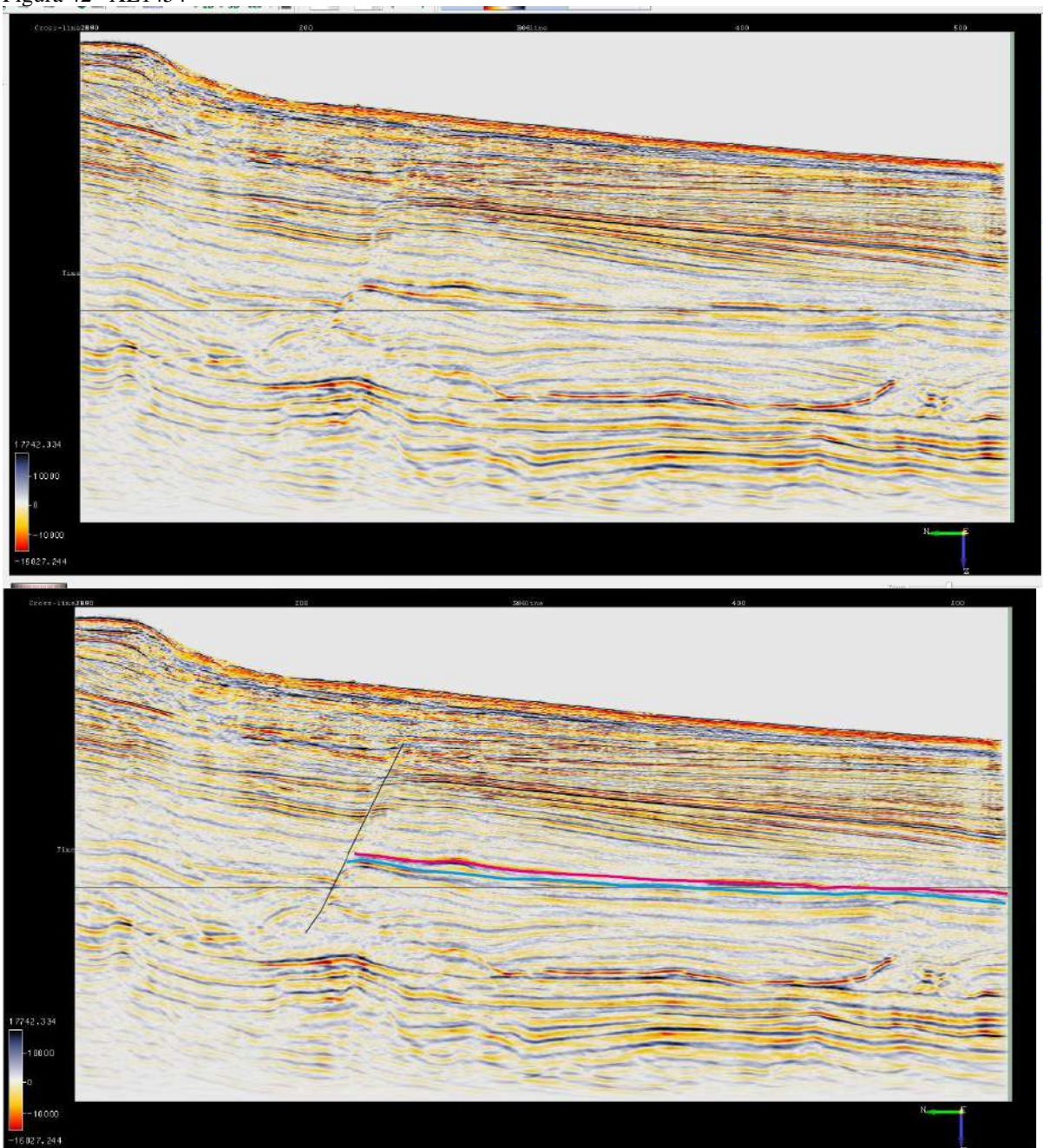
Fonte: A autora, 2011.

Figura 41 – XL1354



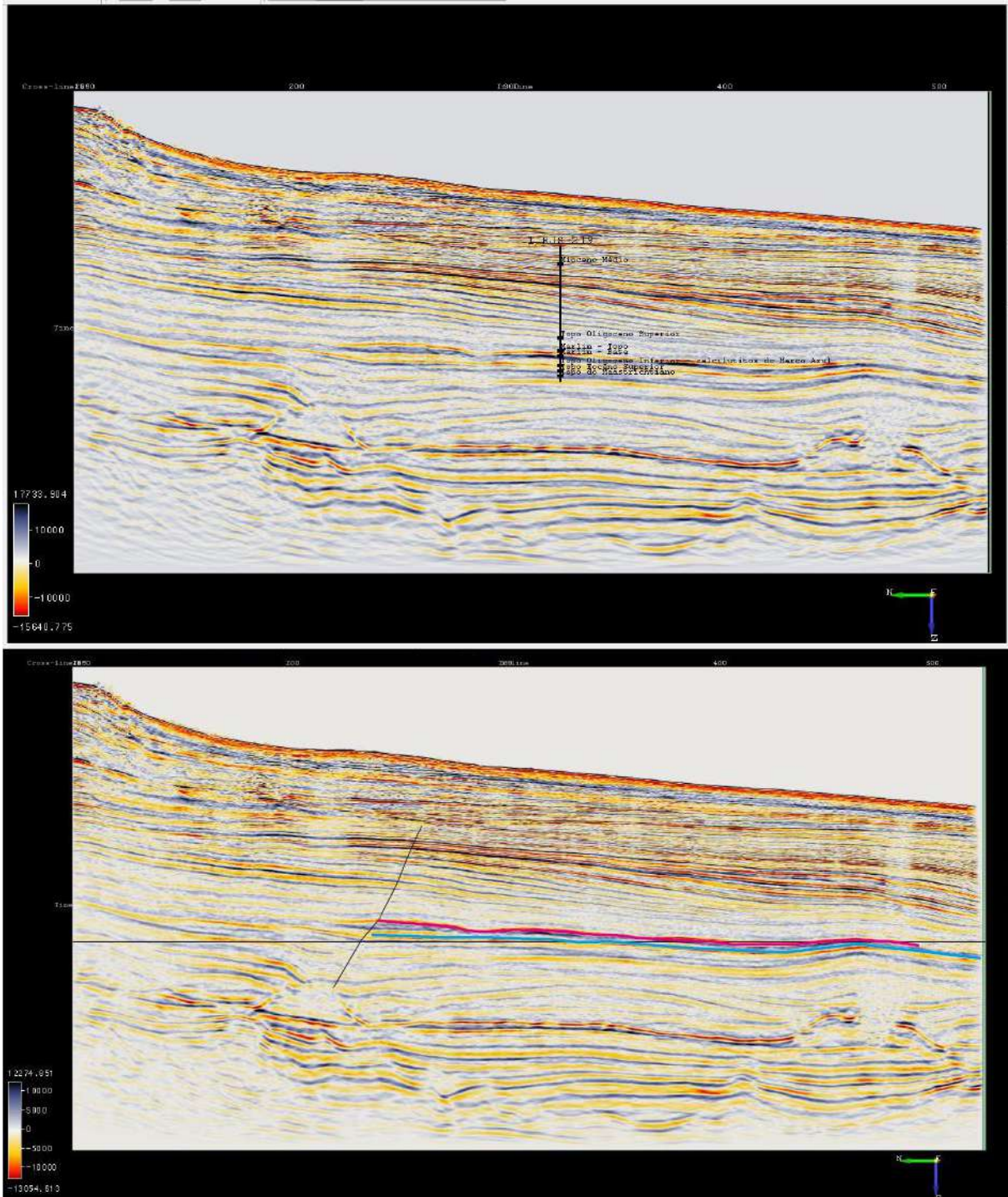
Fonte: A autora, 2011.

Figura 42 –XL1454



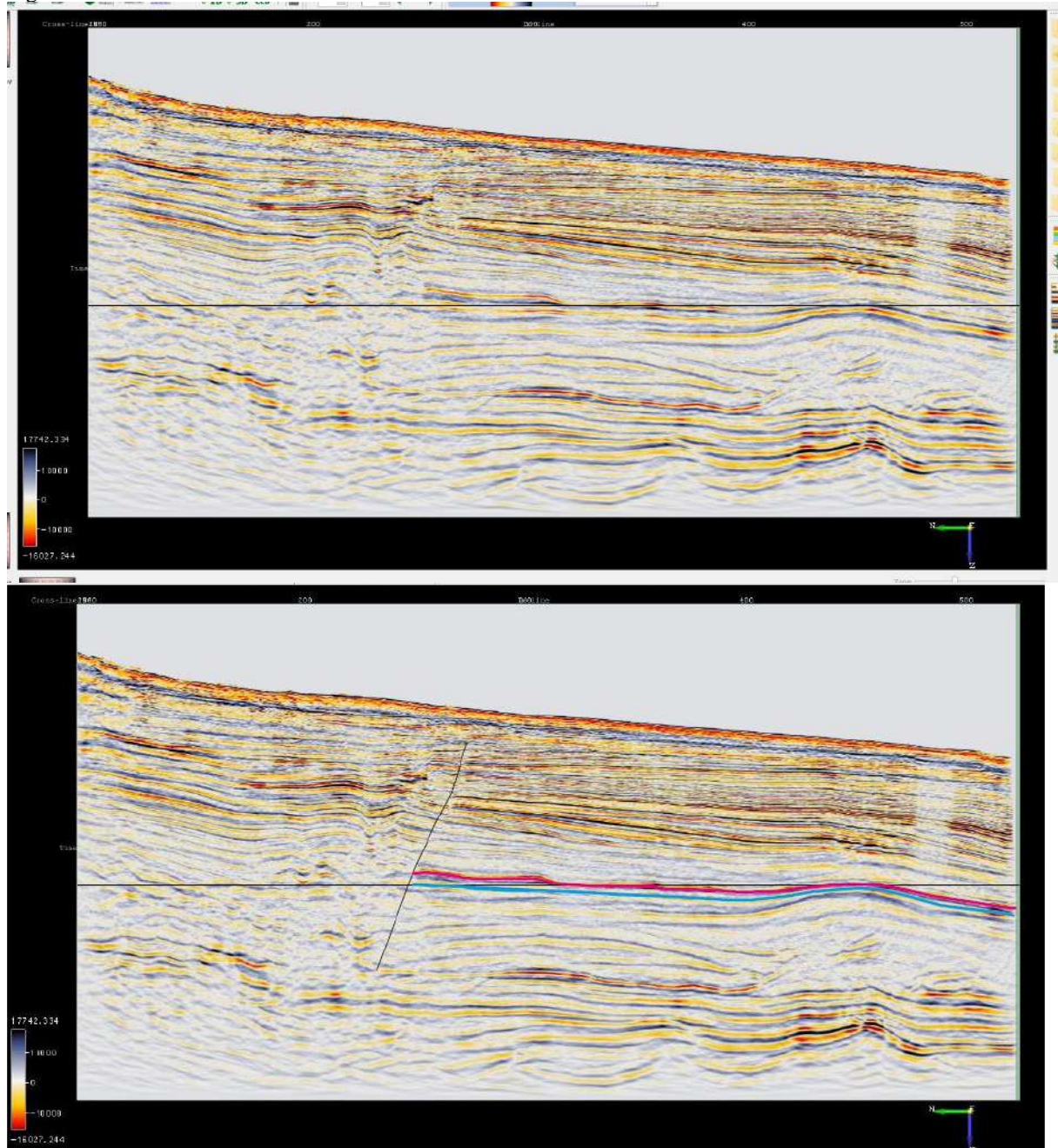
Fonte: A autora, 2011

Figura 43 – XL1554



Fonte: A autora, 2011.

Figura 44 – XL1673



Fonte: A autora, 2011.