



**CARACTERIZAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE SUDOESTE DA
BACIA DE CAMPOS, GRUPO LAGOA FEIA, CRETACEO INFERIOR.**

Porto Alegre, 2013

DAIANE DOS SANTOS CARDOSO

**CARACTERIZAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE SUDOESTE
DA BACIA DE CAMPOS, GRUPO LAGOA FEIA, CRETACEO INFERIOR.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Geólogo.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Juliano Kuchle

ORIENTADORA: Prof. Dra. Karin Goldberg

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**Reitor:** Carlos Alexandre Netto**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS****Diretor:** André Sampaio Mexias**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Cardoso, Daiane dos Santos

Caracterização Sismoestratigráfica da Seção Rifte Sudoeste da Bacia de Campos, Grupo Lagoa Feia, Cretáceo Inferior
/ Daiane dos Santos Cardoso. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.
[103 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador: Juliano Kuchle
Coorientador: Karin Goldberg

1. Rife. 2. Bacia de Campos. 3. Sismoestratigrafia. 4. Evolução Tectonoestratigráfica. I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Veileida Ana Blank CRB 10/571

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**CARACTERIZAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA BACIA DE CAMPOS, GRUPO LAGOA FEIA, CRETACEO INFERIOR.**” elaborado por Daiane dos Santos Cardoso, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

Prof. Dr. Cristianini Trescastro Bergue

Maria Luiza Correa da Camara Rosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada mãe, Rejane dos Santos Cardoso. Mãe, muito obrigada por tudo, tu és um exemplo de mulher a ser seguido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores do curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia.

À BG E&P Brasil pela disponibilização dos dados e oportunidade de bolsa.

À minha orientadora Karin pela oportunidade de bolsa, pela paciência na orientação, incentivo e boas risadas.

Ao meu orientador Juliano pelo apoio, pelos conhecimentos transmitidos, por tudo. Obrigada por me ajudar a tornar esse sonho possível.

À professora Ana Maria Pimentel Mizusaki pela primeira oportunidade de bolsa e pelas oportunidades futuras. Ana, tu és um exemplo de profissional.

Agradeço principalmente a minha família, que é a minha base. Mãe, vó Eunice, Nina, Carol, Steh e Diego, muito obrigada por todo o apoio. Essa conquista só foi possível por causa de vocês. Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

Ao Diego Mendes, a pessoa que me apoiou do início ao fim dessa longa jornada, que esteve comigo durante conquistas e derrotas, lágrimas e risadas. Di, muito obrigada por tudo, por ser o meu porto seguro. Tu és um grande exemplo a ser seguido, um grande exemplo de líder.

Aos meus colegas de graduação e amigos. Leo, Bina, Eliege, Diego, Cris, Duda e Amandinha, não tenho palavras para expressar o quanto vocês foram e são importantes na minha vida. Obrigada por compartilharem comigo os grandes momentos de descobertas geológicas.

Às minhas colegas de bolsa e grandes colaboradoras. Andrea, Paty, Marina, Pi e Renata, obrigada pela ajuda, conselhos, broncas, e por me guiarem nesse momento tão especial.

Ao meu supervisor e amigo Marcelo Murilo por todo apoio e compreensão. Tu és a única pessoa que sabe pelo que passei. Atender centenas de pessoas e desenvolver um trabalho de conclusão não é fácil. Obrigada.

Aos meus amigos Carolzinha, Tainá e Fellipe. Vocês foram e são muito importantes. Obrigada pelos momentos de cumplicidade e de extrema felicidade.

Obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para a Daiane que sou hoje.

RESUMO

A bacia de Campos, localizada na margem continental brasileira, é atualmente a principal bacia prolífera em termos de produção de hidrocarbonetos do Brasil. O presente projeto temático visa à compreensão dos estágios iniciais e evolução da Bacia de Campos. O objetivo principal foi compreender como ocorreu a abertura, desenvolvimento e preenchimento de uma calha rifte localizada na região sudoeste da bacia através da análise sismoestratigráfica. A seção rifte da Bacia de Campos, constituída pelo Grupo Lagoa Feia, inclui as principais rochas geradoras da bacia, além de importantes reservatórios de petróleo. Com base nos conceitos fundamentais da sismoestratigrafia e no modelo teórico desenvolvido por Kuchle & Scherer (2010) para bacias do tipo rifte, foi feita a interpretação em detalhe de quatro linhas sísmicas 2D para obter um modelo evolutivo da área de estudo. Através da interpretação das terminações dos refletores, o meio-gráben foi dividido em unidades sismoestratigráficas, onde foram individualizados três tratos de sistemas tectônicos: Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, Trato de Sistemas Tectônico de Alta Atividade Tectônica e Trato de Sistemas Tectônico de Baixa Atividade Tectônica. Esses tratos de sistemas tectônicos apresentam aumento ou diminuição da divergência dos refletores e sismofácies específicas para cada parte do meio-gráben, e são individualizados por superfícies estratigráficas. Posteriormente foi realizada a integração de todos os dados e foram construídos diagramas cronoestratigráficos (diagramas de Wheeler) de cada linha sísmica. O detalhamento da evolução inicial do meio-gráben, apesar de não ter expressão regional, servirá de base para a construção de modelos de evolução do rifte da Bacia de Campos, fundamentais para guiar os esforços exploratórios na seção rifte.

Palavras-chave: Rifte. Bacia de Campos. Sismoestratigrafia. Evolução tectonoestratigráfica.

ABSTRACT

The Campos Basin, located at the Brazilian continental margin, is the main hydrocarbon producing basin on Brazil. This work aims to understand the initiation stage and evolution of the Campos Basin. The main objective is to analyze the rifting process, development and infill of a rift trough located at the southeastern area of the basin, using seismic stratigraphic techniques. The rift section of the Campos Basin is constituted by the Lagoa Feia Formation, which includes the main oil generators of the basin, and relevant producing reservoirs. Based on the basic concepts of the seismic stratigraphy and using the theories proposed by Kuchle & Scherer (2010) to rift basins, a detailed interpretation of four 2D seismic lines were made, obtaining a evolutionary model to the study area. Using reflectors terminations, the half-graben structure were divided on several seismic units, and three tectonic system tracts were recognized – the half-graben development tectonic system tract, the high tectonic activity system tract and the low tectonic activity system tract. The tectonic system tracts shows an increase or decrease of the reflectors divergence, and are bounded by stratigraphic surfaces. Subsequently, all the data were integrated and chronostratigraphic charts (Wheeler diagrams) were made for each seismic line. The detailed mapping and stratigraphic characterization of the evolution of the half-graben, even without a regional wide area expression, can help to elaborate future rift evolutionary models to the Campos Basin, driving exploration efforts at the basin.

Keywords: Rift. Campos Basin. Seismic Stratigraphy. Tectonostratigraphic evolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Bacia de Campos.....	16
Figura 2. Coluna e carta estratigráfica da Bacia de Campos.....	22
Figura 3. Relação entre as terminações dos refletores e limites de sequência.	25
Figura 4. Representação de configurações internas de refletores.	29
Figura 5. Tipos de formas externas.....	34
Figura 6. Tipos de mounds.	35
Figura 7. Tratos de sistemas tectônicos.....	39
Figura 8. Mapa de localização da área de estudo.....	41
Figura 9. Meio-gráben identificado na linha sísmica dip 1.....	42
Figura 10. Interpretação completa dos refletores realizada a partir da interpretação da LSD1.	44
Figura 11. Exemplos de refletores identificados na LSD1.....	45
Figura 12. Seção não analisada da LSD1– fase sag, pós-rifte.....	46
Figura 13. Terminações de refletores identificadas na LSD1.....	48
Figura 14. Unidades Sismoestratigráficas identificadas na LSD1.	50
Figura 15. Sismofácies identificadas na LSD1.....	52
Figura 16. Tipos de sismofácies identificadas na LSD1 (A, B, C e D).	53
Figura 17. Seção sísmica LSD1, com a interpretação completa dos refletores, unidades sismoestratigráficas e sismofácies caracterizadas.....	54
Figura 18. Meio-gráben identificado na linha sísmica dip 2.....	56
Figura 19. Interpretação completa dos refletores realizada a partir da interpretação da LSD2.	58
Figura 20. Exemplos de refletores identificados na LSD2.....	59
Figura 21. Seção não analisada da LSD2– fase sag, pós-rifte.....	60
Figura 22. Exemplos de terminações de refletores identificados na LSD2.....	62
Figura 23. Exemplos de terminações de refletores (truncamentos erosivos, terminações em downlap, e terminações em onlap).	63
Figura 24. Unidades Sismoestratigráficas identificadas na LSD2.	65
Figura 25. Sismofácies identificadas na LSD2.....	67

Figura 26. Tipos de sismofácies identificadas na LSD2 (A, B, C, D e E).....	68
Figura 27. Seção sísmica LSD2, com a interpretação completa dos refletores, unidades sismoestratigráficas e sismofácies caracterizadas.....	70
Figura 28. Meio-gráben identificado na LSD3.	72
Figura 29. Interpretação completa dos refletores realizada a partir da interpretação da LSD3.	74
Figura 30. Exemplos de refletores identificados na LSD3.	75
Figura 31. Seção não analisada da LSD3– fase sag, pós-rifte.....	76
Figura 32. Exemplos de terminações de refletores (terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, truncamentos erosivos, terminações em downlap e terminações em onlap).	78
Figura 33. Unidades Sismoestratigráficas identificadas na LSD3.	80
Figura 34. Sismofácies identificadas na LSD3.	82
Figura 35. Tipos de sismofácies identificadas na LSD3 (A, B, C e D).	83
Figura 36. Seção sísmica LSD3, com a interpretação completa e a carta cronoestratigráfica equivalente, apresentando a distribuição temporal das unidades espaciais e seus preenchimentos.	85
Figura 37. Meio-gráben identificado na linha sísmica strike.	87
Figura 38. Exemplos de refletores identificados na LSS.	89
Figura 39. Seção não analisada da LSS– fase sag, pós-rifte.....	90
Figura 40. Sismofácies identificadas na LSS.	91
Figura 41. Tipos de sismofácies identificadas na LSS (A, B, C e D).	92
Figura 42. Tratos de sistemas tectônicos identificados e suas superfícies limítrofes para cada linha e unidades pertencentes a cada trato de sistema tectônico.....	96
Figura 43. Modelo 3D da área de estudo visto em planta.	97
Figura 44. Modelo 3D da área de estudo visto de sul para norte.	98
Figura 45. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D em outra perspectiva.	98
Figura 46. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D.....	99

TABELA

Tabela 1. Principais parâmetros das sismofácies e suas respectivas interpretações geológicas.	27
--	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Justificativa.....	13
1.2. Problema de pesquisa.....	13
1.3. Objetivos gerais e específicos	14
1.4. Localização da área de estudo	15
2. GEOLOGIA REGIONAL	18
2.1. Bacia de Campos	18
2.2. Grupo Lagoa Feia.....	21
3. METODOLOGIA.....	23
3.1. Sismoestratigrafia.....	23
3.2. Modelo Teórico.....	36
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	40
4.1. Linha sísmica Dip 1	40
4.2. Linha Sísmica Dip 2.....	55
4.3. Linha Sísmica Dip 3.....	71
4.4. Linha Sísmica Strike.....	86
5. INTEGRAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	93
5.1. Modelo Tridimensional da área de estudo	97
6. CONCLUSÕES	100
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A seção rifte da Bacia de Campos abriga as principais rochas geradoras da bacia, notórios reservatórios produtores, e possivelmente rochas reservatório até hoje desconhecidas. O estudo da seção rifte permite a compreensão da evolução tectono-sedimentar do processo de rifteamento e de como se deu o preenchimento inicial das calhas que formam a bacia.

A ausência de informação relacionada à fase rifte da Bacia de Campos ocorre devido aos escassos estudos desenvolvidos nessa seção e à inacessibilidade de volume de dados por causa da sua profundidade. A sismoestratigrafia é uma técnica muito importante, pois permite o reconhecimento da bacia, possibilita o estabelecimento de modelos de prospecção de petróleo em áreas pouco exploradas, através da correlação de poços e integração de diversas fontes de dados. Além disso, a sísmica 3D permite a interpretação de corpos tridimensionais de rochas, e possibilita a representação de seções em qualquer direção, incluindo cortes horizontais (mapas sísmicos), além de mapas de contorno de superfícies específicas.

Portanto, o profissional que for trabalhar nesta área precisa ter o domínio desta ferramenta, e o projeto temático aqui proposto teve como objetivo qualificar o aluno através do uso de ferramentas específicas para exploração de Petróleo, propiciando uma vantagem competitiva quando do ingresso no mercado de trabalho.

1.2. Problema de pesquisa

O rifte da Bacia de Campos formou-se durante a separação da América do Sul e do continente africano, porém o conhecimento a respeito de como ocorreu a

sua abertura e de como ele foi preenchido ainda é limitado. Essa limitação se deve à grande profundidade da bacia e à escassez de dados de rocha.

Através da sismoestratigrafia, do estudo detalhado de uma das calhas rifte, com a identificação e interpretação dos padrões estratigráficos e das terminações dos refletores sísmicos, pretendemos entender a evolução estrutural e estratigráfica inicial da bacia, definindo o arcabouço sismoestratigráfico, a geometria dos depósitos e interferências sobre o padrão de preenchimento dessas calhas. Os maiores problemas relacionados ao estudo são descritos abaixo:

- I. Como ocorreu o início, evolução, e final do processo de rifteamento da Bacia de Campos?
- II. Qual o registro desta evolução, em eventos deposicionais e eventos erosivos?
- III. Como é o preenchimento desta fase rifte?
 - a. Existe algum padrão específico?
 - b. Existe alguma anomalia que escapa ao padrão?
 - c. Qual o limite de confiança no dado sísmico?

1.3. Objetivos gerais e específicos

O objetivo geral da pesquisa foi entender os processos envolvidos no processo de rifteamento, e os fatores que controlaram o preenchimento das calhas rifte, compreender a geração das principais rochas geradoras, e identificar os potenciais reservatórios de hidrocarbonetos da Bacia de Campos através da caracterização sismoestratigráfica. Essa caracterização é realizada a partir da interpretação dos refletores sísmicos e suas terminações, da caracterização das sismofácies e seus limites, e a posterior interpretação dos eventos deposicionais relacionados a superfícies estratigráficas (unidades sismoestratigráficas).

Posteriormente, é feita a identificação do posicionamento e ordenamento temporal das unidades sismoestratigráficas (cronoestratigrafia), a análise da relação entre as sismofácies e as unidades sismoestratigráficas, e o posterior estabelecimento do arranjo espacial das sismofácies para cada unidade. Adicionalmente, é executada a correlação das sismofácies com dados de poços próximos a área para estabelecer uma possível determinação de conteúdo

faciológico para as sismofácies e, a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, acima citadas, pretende-se realizar o estabelecimento da história evolutiva da área de estudo, e de suas variáveis controladoras.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- i. Seções estratigráficas e geológicas, mostrando o arcabouço sismoestratigráfico da área de estudo;
- ii. Cartas cronoestratigráficas (Diagramas de Wheeler) das unidades sismoestratigráficas interpretadas (Wheeler, 1958);
- iii. Mapeamento sísmico sistemático de outras linhas sísmicas da região sudoeste da bacia utilizando o arcabouço desenvolvido para as quatro linhas sísmicas analisadas;
- iv. Geração de um modelo 3D (em tempo sísmico) para a área de estudo, utilizando o mapeamento sísmico sistemático;
- v. Modelo evolutivo da fase rifte para a área de estudo, que irá contribuir para a compreensão geral da evolução do rifte regional da Bacia de Campos;
- vi. Divisão do meio-gráben em tratos de sistemas tectônicos e suas superfícies limítrofes, conforme o modelo de Kuchle & Scherer (2010).

1.4. Localização da área de estudo

A Bacia de Campos situa-se na região sudeste da margem continental brasileira, entre os paralelos 21° e 23° sul. É uma larga feição orientada NE-SW que ocupa mais de 100.000 km² até o limite de águas internacionais. Abrange os litorais dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, limitando-se a norte com a Bacia do Espírito Santo por uma elevação do embasamento chamada de Alto de Vitória e a Sul com a Bacia de Santos pelo Alto de Cabo Frio (Figura 1). Dos mais de 100.000 Km² de área, cerca de 5% se estende para terra e cerca de 95% encontra-se localizada em mar e, como a área de estudo encontra-se nessa porção submersa, a análise foi realizada através de dados de poços exploratórios de hidrocarbonetos e dados sísmicos da região sudoeste da bacia.

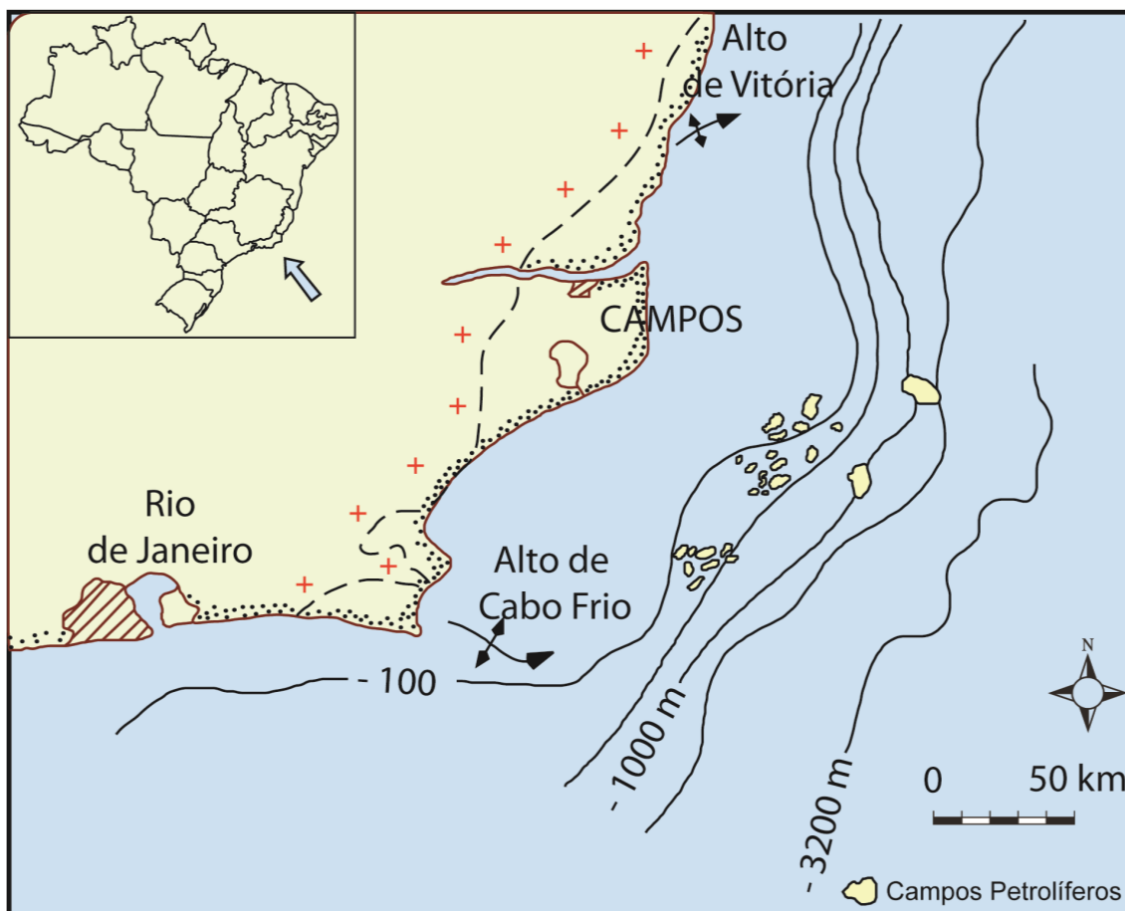


Figura 1. Localização da Bacia de Campos, que se limita a norte pelo Alto de Vitória e a sul pelo Alto de Cabo frio (Extraído de Moraes, 1989).

A Bacia de Campos é, atualmente, a bacia brasileira mais prolífica, aparecendo em primeiro lugar na produção de petróleo, com mais de 78% da produção total, e em primeiro lugar na produção de gás natural, com mais de 34% da produção total, no último Boletim da Produção Mensal de Petróleo e Gás Natural da ANP, mês de Setembro de 2013 (ANP, 2013). As grandes reservas recentemente descobertas no pré-sal encontram-se principalmente na região profunda da Bacia de Campos, e o intervalo do reservatório tem sido interpretado como pertencente a uma fase de reajuste tectônico relacionado aos esforços distensivos finais da fase rifte (Lentini *et al.*, 2010). Assim, a compreensão do processo de rifteamento que antecedeu o desenvolvimento do pré-sal é fundamental para a exploração de hidrocarbonetos na Bacia de Campos, que é responsável por mais de 15% da produção total de petróleo e por mais de 14% da produção total de gás natural oriundos do pré-sal, sendo que, dos 25 poços produtores dessa porção, 18 estão localizados na Bacia de Campos (ANP, 2013).

Adicionalmente, com o reprocessamento e conseqüente melhoria da qualidade dos dados sísmicos, é possível uma melhor visualização das calhas rifte

da Bacia de Campos, fato que contribui para uma melhor compreensão desse processo de rifteamento que antecedeu o desenvolvimento do pré-sal, onde se formaram rochas geradoras e potenciais reservatórios de petróleo e gás natural. Nesse contexto, os modelos estratigráficos também passaram por avanços consideráveis, principalmente com o advento da estratigrafia de sequências nos anos 80 e 90, e a sua adaptabilidade para diversos outros tipos de bacias nos anos 90 e 2000, proporcionando uma aplicabilidade confiável em bacias do tipo rifte

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1. Bacia de Campos

A Bacia de Campos, localizada na margem continental brasileira, segue a mesma evolução tectonoestratigráfica das demais bacias da margem continental brasileira, que é do tipo rifte-margem passiva, com sua origem ligada à ruptura e separação da América do Sul e do continente africano durante o Juro-Cretáceo (Asmus & Porto, 1980). Essa configuração de margem passiva foi resultado de três eventos sequenciais principais: soerguimento e domeamento da crosta continental, fragmentação crustal (rifteamento) e deslocamento lateral dos blocos continentais fragmentados, acompanhado do progressivo espalhamento do assoalho oceânico e subsidência das bacias marginais resultantes (Asmus & Baisch, 1983). Segundo Bertani & Carozzi (1984), a origem da bacia está ligada ao estágio inicial de separação dos blocos continentais Africano e Sul-Americano no Cretáceo Inferior, como um sistema de riftes preenchidos por sedimentos fluviais e lacustres. Segundo Almeida *et al.* (1996), o estágio de rifte foi assinalado por estruturas extensionais, como falhamentos normais e abatimentos da crosta, dos quais resultaram as bacias do sudeste e do sul da margem continental brasileira. Geneticamente, há semelhança entre o magmatismo da área continental emersa (Formação Serra Geral) e o embasamento basáltico neojurássico a eocretáceo das bacias de Campos, Santos, Espírito Santo, Alto estrutural de Florianópolis e o Alto de Cabo Frio (Almeida *et al.*, 1996). Dentro desse contexto de quebra do continente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico, ocorreu a deposição de diferentes tipos litológicos que podem ser agrupados em três supersequências distintas, como descrito por Winter *et al.* (2007) (Figura 2). São elas: supersequência Rifte, que possui sedimentação de origem continental e é formada pelas sequências K20-K34, K36 e K38; supersequência Pós-Rifte, que possui sedimentação de origem continental e de origem marinha transgressiva, e é

formada pelas sequências K46-K48 e K50, e; supersequência Drifte, que possui sedimentação de origem marinha regressiva, e é formada por vinte e uma sequências deposicionais denominadas de K60, K70, K82-K84, K86-K88, K90, K100-K110, K120, K130, E10-E20, E30, E40-E50, E60, E72, E74, E80, N10, N20, N30, N40, N50 e N60.

Segundo este trabalho, o registro sedimentar da fase rifte na Bacia de Campos inicia-se no Hauteriviano e prolonga-se ao Eoaptiano (Andar Jiquiá), sendo subdividida em três sequências deposicionais denominadas K20-K34, K36 e K38. A sequência K20-K34 tem limite inferior discordante com as rochas do embasamento e como limite superior a discordância com os sedimentos da sequência K36 (Figura 2). Litoestratigraficamente é denominada de Formação Cabiúnas, e é composta por derrames ígneos, subalcalinos, subaéreos e subaquosos, com espessura máxima de 650 m. Basaltos e diabásios são as principais litologias desta unidade, sendo que os basaltos fraturados e vesiculares representam importantes reservatórios produtores de óleo no campo de Badejo (Winter *et al.*, 2007). As datações obtidas nessas rochas permitem correlacionar o evento magmático Cabiúnas de aproximadamente 130 Ma com o evento ígneo Serra Geral, Bacia do Paraná, também de aproximadamente 130 Ma (Almeida *et al.* 1996). Além dos derrames ígneos, a sequência K20-K34, é formada por conglomerados, arenitos e siltitos que ocorrem localmente entre derrames sucessivos, sendo denominados de intertrapes (Winter *et al.*, 2007).

A Sequência K36 corresponde à porção basal do Grupo Lagoa Feia. Litoestratigraficamente corresponde à Formação Atafona e porção inferior da Formação Itabapoana (Figura 2), depositadas no Andar Barremiano, equivalente aos andares cronoestratigráficos locais Aratu superior e Buracica. Seu limite inferior é a discordância do topo dos basaltos da Formação Cabiúnas, sequência K20-K34, e o limite superior é a discordância da base da Sequência K38, discordância pré-Jiquiá, de 125,8 Ma (Winter *et al.*, 2007). Litologicamente, a Formação Itabapoana é composta por conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos avermelhados proximais de borda de bacia e borda de falha. A Formação Atafona é representada, principalmente, por arenitos, siltitos e folhelhos depositados em ambiente quimicamente diferenciado, alcalino, caracterizado pela deposição predominante de minerais de talco e estevensita (Winter *et al.*, 2007).

A Sequência K38 corresponde à porção intermediária do Grupo Lagoa Feia, compreendendo as Formações Itabapoana (porção intermediária) e Coqueiros, depositadas desde o Barremiano superior ao Aptiano inferior (Figura 2). Seu limite

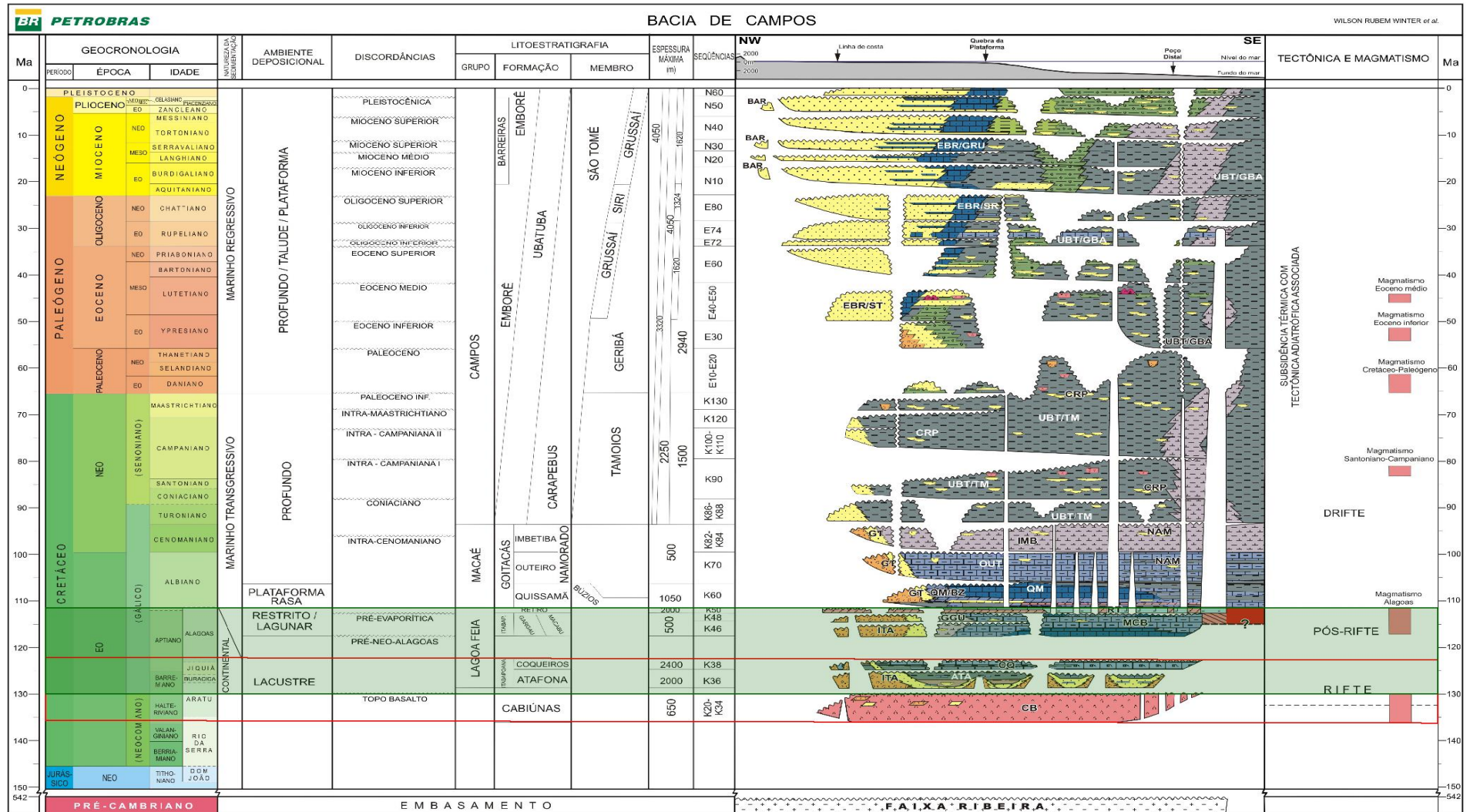
inferior é a discordância pré-Jiquiá, de 125,8 Ma e o limite superior corresponde à discordância pré-neo-Alagoas (com ocorrência entre 120 e 123,1 Ma), facilmente identificada em seções sísmicas. A Formação Itabapoana é representada os conglomerados e arenitos proximais da bacia e de borda de falha, e a Formação Coqueiros está representada por intercalações de camadas de folhelhos e carbonatos lacustres compostos, predominantemente, por moluscos bivalves (Winter *et al.*, 2007). A Formação Coqueiros é facilmente reconhecida em sísmica, uma vez que a intercalação de folhelhos de baixa densidade, ricos em matéria orgânica, com carbonatos de alta densidade estabelece uma sismofácies característica, sendo que os refletores sísmicos com máximas amplitudes negativas referem-se aos folhelhos do andar Jiquiá (folhelho Jiquiá), que são os principais geradores de petróleo da bacia (Winter *et al.*, 2007).

A análise do registro sedimentar da fase pós-rifte da Bacia de Campos não é o objetivo do trabalho, porém, como é constituído por rochas pertencentes ao Grupo Lagoa Feia, será detalhado a partir do trabalho apresentado por Winter *et al.* (2007). Segundo os autores, o registro sedimentar da fase pós-rifte inicia-se no Aptiano e prolonga-se ao Eoalbiano, sendo subdividida em três sequências deposicionais denominadas K46, K 48 e K50 (Figura 2). As sequências K46 e K48 correspondem à porção superior do Grupo Lagoa Feia, compreendendo as formações Itapaboana, Gargaú e Macabu, tem como limite inferior a discordância pré-neo-Alagoas e como limite superior a discordância da base da Sequência Evaporítica, de 112 Ma (Figura 2). Estas sequências marcam a passagem do ambiente continental lacustre para o ambiente marinho, são transicionais e representam uma grande expansão da bacia (Figura 2). Enquanto a Sequência K46 apresenta um caráter progradacional, representado pelos depósitos da Formação Itapaboana, conglomerados e arenitos de borda que progradam para dentro da bacia até o topo da Sequência, a Sequência K48 apresenta um caráter retrogradacional e é representada pelas Formações Gargaú e Macabu, que são caracterizadas por sedimentos carbonáticos, margas e arenitos depositados em ambiente raso, transicional. A passagem entre essas sequências é representada por uma discordância de idade estimada de 115 Ma, evidente na porção proximal da bacia e por variação de litofácies nas porções distais, equivalente à predominância de laminitos microbiais e feições de exposição, sugeridas por perfis (Figura 2). Nas porções mais distais das Sequências K46 e K48 ocorrem calcários estromatolíticos (representados como calcarenitos na carta) e laminitos microbiais da Formação Macabu, por vezes dolomitizados (Figura 2). E, por fim, a Sequência

K50 que corresponde aos evaporitos da Formação Retiro, do Grupo Lagoa Feia (Andar Albiano inferior ou Andar local Alagoas superior), que se encontra limitada na base pela discordância entre os evaporitos e a sequência sedimentar transicional, de 112 Ma, e no topo pela passagem dos evaporitos da Formação Retiro para sedimentos da Formação Goitacás e Formação Quissamã do Grupo Macaé (Figura 2). A Sequência K50 tem um papel importante na arquitetura da Bacia de Campos, pois a movimentação de sal moldou o assoalho marinho, criando caminhos preferenciais para as areias depositadas no Cretáceo Superior (Winter *et al.*, 2007).

2.2. Grupo Lagoa Feia

O Grupo Lagoa Feia, como citado anteriormente, é constituído pelas Formações Atafona, Itabapoana, Coqueiros, Macabu, Gargaú e Retiro, agrupadas em cinco sequências deposicionais distintas, que foram depositadas entre as fases rifte e pós-rifte da Bacia de Campos, mais precisamente entre o Barremiano e o Albiano (Andar Alagoas). O grupo possui as principais rochas geradoras da bacia. Os sedimentos depositados durante as fases rifte e pós-rifte variam de 200 a mais de 1500 m de espessura, e consistem em conglomerados e arenitos aluviais, folhelhos lacustres, siltitos e carbonatos, recobertos por camadas de anidrita e halita (Bertani & Carozzi, 1985). Pequenos diques basálticos e rochas vulcanoclásticas básicas comumente aparecem intercalados nessa sequência sedimentar, indicando que a atividade vulcânica foi contemporânea com a sedimentação (Bertani & Carozzi, 1985). O presente trabalho trata da análise sismoestratigráfica da seção rifte na Bacia de Campos, englobando prioritariamente as Sequências K36 e K38, que são constituídas pelas Formações Atafona, Itabapoana e Coqueiros.



3. METODOLOGIA

3.1. Sismoestratigrafia

O presente trabalho foi desenvolvido através da aplicação da sismoestratigrafia, que é o estudo da estratigrafia e das fácies deposicionais interpretadas a partir de dados sísmicos, onde as terminações de reflexões sísmicas e as configurações dos refletores são interpretadas como padrões de estratificação e são utilizadas para o reconhecimento de sequências sísmicas, sua correlação com sequências deposicionais, interpretação do ambiente deposicional e estimativa de litofácies (Mitchum *et al.*, 1977a). Conforme estes autores, uma sequência sísmica é similar a uma sequência deposicional, consiste em uma sucessão relativamente conformável de reflexões em uma seção sísmica, limitada no topo e na base por superfícies de descontinuidade marcadas por terminações de refletores, que são interpretadas como discordâncias ou suas concordâncias correlatas, possui todas as propriedades das sequências deposicionais sujeita apenas à condição de que essas propriedades podem ser reconhecidas e interpretadas a partir de dados de reflexão sísmica. Conceitualmente, uma sequência deposicional é uma unidade estratigráfica composta por uma sucessão relativamente conformável de estratos geneticamente relacionados, limitados no topo e na base por discordâncias ou suas concordâncias correlatas (Mitchum *et al.*, 1977b), conceito que foi modificado de Sloss *et al.* 1949, que introduziu o termo sequência, mas propôs o seu modelo levando em consideração apenas as discordâncias subaéreas como superfícies limítrofes dessas sequências. A sequência deposicional de Sloss é uma ordem de magnitude maior que a sequência definida por Mitchum *et al.* 1977a, e pode ser associada, em magnitude, às supersequências.

Segundo Mitchum *et al.* (1977a), as sequências deposicionais são cronoestratigraficamente importantes, pois são depositadas em um intervalo de

tempo específico, limitadas pelas idades das suas superfícies limítrofes onde elas são conformidades. Quando os limites forem representados por discordâncias, as idades podem diferir de um local para outro, pois o hiato representado por uma discordância pode variar de poucas centenas a milhões de anos, contudo, na porção conformável, concordante, é praticamente síncrona porque o hiato representado por ela não é mensurável, podendo ser menor que um Ma. Os limites das sequências são importantes, pois delimitam as sequências, separando estratos mais antigos de estratos mais jovens, e são identificados através das progressivas terminações dos refletores, que representam o principal critério na determinação de limites de sequência. O tipo de relação discordante é o melhor indicador para determinar se uma discordância resultou de uma erosão ou de uma não deposição (se os estratos acima da superfície são concordantes com essa superfície, então não há evidência física de erosão, de discordância ao longo dessa parte da superfície, porém, se os estratos forem discordantes, se terminarem contra a superfície, então há evidência física de erosão, de discordância nessa parte da superfície). Essas relações discordantes e suas concordâncias correlatas podem ser observadas tanto nos limites superiores, quando são chamadas de relações discordantes de topo, quanto nos limites inferiores de uma sequência deposicional, chamadas de relações discordantes de base (*baselap*), e são baseadas, principalmente, na angularidade entre os estratos e as superfícies limítrofes (Mitchum *et al.*, 1977b) (Figura 3).

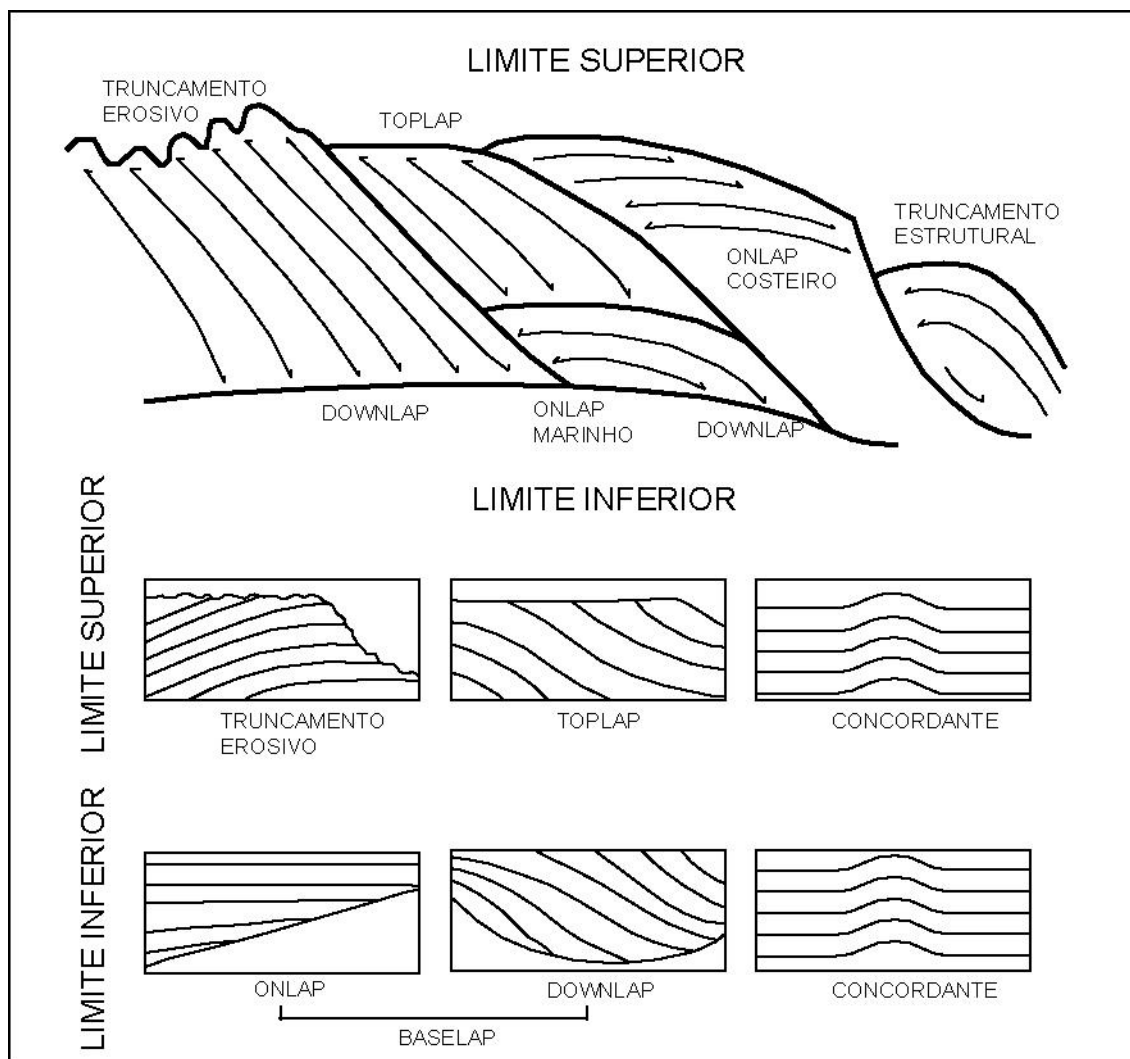


Figura 3. Relação entre as terminações dos refletores e limites de sequência (Modificado de Emery & Myers, 1996 e Mitchum *et al.*, 1977b).

Segundo Mitchum *et al.* (1977b), as terminações de topo são representadas pelo truncamento erosivo e pelo *toplap* (Figura 3). O truncamento erosivo é a terminação lateral de um estrato como resultado da sua remoção do seu limite deposicional original, sua remoção ao longo de uma superfície discordante, podendo ser erosional ou estrutural. O truncamento erosivo é formado por processos erosionais, e o truncamento estrutural pode ocorrer por ruptura estrutural, deslizamento gravitacional, fluxo de sal, intrusão ígnea, etc (Figura 3). O *toplap* (Figura 3) é a terminação das reflexões contra uma superfície superior como resultado da não deposição ou apenas de uma erosão menor, que ocorre quando o nível de base é muito baixo, podendo, em alguns casos, ocorrer *by-pass* sedimentar e pequenas erosões acima do nível de base, enquanto que abaixo do nível de base se desenvolve um padrão de empilhamento progradacional. No *toplap*, os refletores terminam lateralmente, diminuindo gradualmente de espessura

mergulho acima e ascendendo ao limite superior assintoticamente (Ribeiro, 2001), são mais locais que os truncamentos erosivos e, normalmente, não podem ser regionalmente correlacionadas (Mitchum *et al.*, 1977b).

As terminações de base são representadas pelo *onlap* e *downlap* (Figura 3). O *onlap* é uma relação na qual as reflexões sísmicas são interpretadas como estratos inicialmente horizontais terminando progressivamente contra uma superfície inicialmente inclinada, ou como os estratos inicialmente inclinados terminando progressivamente para cima, contra a superfície de maior inclinação (Mitchum *et al.*, 1977b). Além disso, segundo os mesmos autores, o *onlap* pode ser classificado como costeiro, quando as terminações ocorrem em ambientes costeiros ou fluviais, e em *onlap* marinho, quando as terminações ocorrem em ambientes de marinhos (Figura 3). O *downlap* é a relação na qual as reflexões sísmicas são interpretadas como os estratos inicialmente inclinados terminando para baixo, contra uma superfície inicialmente inclinada ou horizontal (Mitchum *et al.*, 1977b). Porém, se o *onlap* não pode ser distinguido do *downlap* devido a deformações posteriores a deposição, o termo *baselap* (Figura 3), mais inclusivo, pode ser (Mitchum *et al.*, 1977b). Correlatas às discordâncias de topo e base ocorrem as concordâncias de topo e base (Figura 3), respectivamente, e são identificadas através do paralelismo entre as superfícies limitrofes e os estratos acima ou abaixo dessas superfícies (Mitchum *et al.*, 1977b).

Após o reconhecimento dos eventos deposicionais e individualização das unidades sismoestratigráficas e/ou sequências sísmicas através da identificação de sucessivas terminações e superfícies limitrofes, é feito o reconhecimento das configurações internas e formas externas das sismofácies, que são unidades sísmicas tridimensionais, mapeáveis, compostas por grupos de refletores cujos parâmetros configuração, amplitude, continuidade, frequência e intervalo de velocidade (Tabela 1) diferem dos grupos adjacentes (Mitchum *et al.*, 1977b). Segundo os autores, cada parâmetro pode fornecer informações consideráveis sobre a geologia de subsuperfície já que as configurações das reflexões sísmicas são parâmetros sísmicos óbvios, que podem ser diretamente analisados. A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros das sismofácies e suas respectivas interpretações geológicas, que podem estar relacionadas a processos deposicionais, continuidade do conjunto de camadas que formam um refletor, erosão, paleotopografia, litofácies, entre outros, entretanto, um dos principais parâmetros é a amplitude dos refletores que pode estar relacionada à ocorrência de hidrocarbonetos, sendo que mudanças no intervalo de velocidade, que podem ser

associados com a ocorrência de gás. Adicionalmente, o agrupamento destes parâmetros em sismofácies, e a associação areal destas sismofácies (Tabela 1) permite a interpretação em termos de ambiente deposicional, fonte de sedimentos, e configuração geológica (Mitchum *et al.*, 1977b).

Tabela 1. Principais parâmetros das sismofácies e suas respectivas interpretações geológicas (Modificado de Mitchum *et al.*, 1977b).

Parâmetros das Sismofácies	Interpretação Geológica
Configuração dos refletores	Padrões de acamamento
	Processos deposicionais
	Erosão e paleotopografia
	Contatos fluidos
Continuidade dos refletores	Continuidade do acamamento
	Processos deposicionais
Amplitude dos refletores	Contraste de velocidade e densidade
	Espaçamento das camadas
	Conteúdo de fluidos
Intervalo de velocidade	Estimação de litologia
	Estimação de porosidade
	Conteúdo de fluidos
Forma externa e Associações areais das sismofácies	Ambiente deposicional original
	Fonte de sedimentos
	Configuração/definição geológica

A conjunção dos parâmetros configuração interna dos refletores, dada pelos parâmetros citados acima, e forma externa das sismofácies, leva ao

reconhecimento das geometrias das sismofácies, a partir das quais ocorre a interpretação do ambiente deposicional (Mitchum *et al.*, 1977b). A descrição e interpretação das configurações internas das reflexões começam com padrões simples, como as configurações paralelas, subparalelas, ondulada, divergentes, caóticas, e transparentes (Figura 4), e continuam para configurações mais complexas, como as clinofórmias prográdantes (Figura 4). Ambas as configurações podem ser modificadas, quando necessário, com a utilização de termos modificadores (Figura 4) como, por exemplo, lenticular, contorcido, segmentado e *hummocky*. A configuração paralela ou subparalela pode ocorrer em diversas formas externas, mas é provavelmente mais comum nas unidades em forma de lençóis e lençóis drapeados (Figura 5), e em unidades de preenchimento (Figura 5). Subdivisões dessa configuração simples são baseadas em variações de outros parâmetros sísmicos como a amplitude ou continuidade. Esse padrão sugere taxas de deposição uniformes sobre uma plataforma uniformemente subsidente ou configuração simples de bacia estável (Mitchum *et al.*, 1977b).

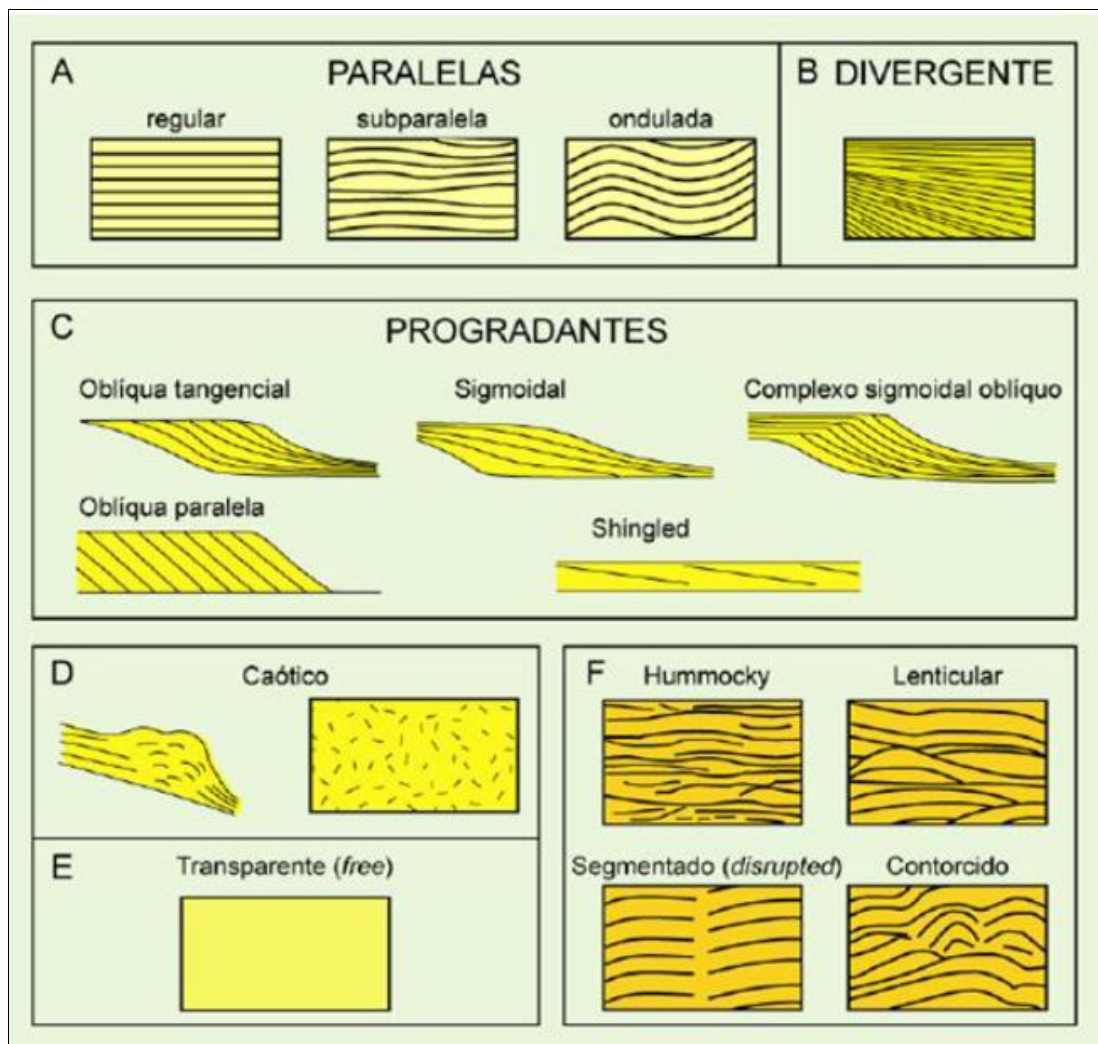


Figura 4. Representação de configurações internas de refletores (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Mitchum *et al.*, 1977b).

A configuração divergente (Figura 4) é caracterizada por uma unidade em forma de cunha na qual a maior parte do espessamento lateral é conseguido por espessamento de ciclos de reflexões individuais no interior da unidade, ao invés de *onlap*, *toplap*, ou erosão na base ou topo (Mitchum *et al.*, 1977b). Terminações laterais não sistemáticas ocorrem comumente dentro da cunha (Figura 5) na direção da convergência (Mitchum *et al.*, 1977b). Tal configuração sugere variações laterais nas taxas de deposição ou inclinação progressiva da superfície deposicional, ou os dois fatores juntos (Mitchum *et al.*, 1977b). A configuração caótica (Figura 4) consiste em reflexões discordantes e descontínuas, sugerindo um arranjo desordenado das superfícies de reflexão (Mitchum *et al.*, 1977b). É interpretada como estratos depositados em um ambiente de energia alta e variável, ou como estratos inicialmente contínuos que foram deformados de modo a interromper sua continuidade, sendo que, dependendo da intensidade da

deformação, a feição deposicional original pode ser reconhecida ou não. Dobramento, falhas, estruturas de escorregamento ou convolutas, e zonas contorcidas podem apresentar a configuração sísmica caótica (Mitchum *et al.*, 1977b). A configuração transparente (Figura 4) representa intervalos com ausência de reflexão (*reflection-free*), que podem indicar pacotes sedimentares intensamente redobrados ou com mergulhos muito abruptos, como também litologias homogêneas para o método sísmico, ou não estratificadas, como alguns tipos de folhelhos, arenitos espessos, carbonatos maciços, camadas de sal ou corpos ígneos (Mitchum *et al.*, 1977b).

Conforme Mitchum *et al.* (1977b), as configurações progradantes (Figura 4) são interpretadas como estratos em que a deposição significativa é dada por sobreposição lateral ou progradante. Os padrões progradantes *sigmoide* (Figura 4), oblíquo tangencial (Figura 4), oblíquo paralelo (Figura 4), complexo sigmoidal oblíquo (Figura 4), *shingled* (Figura 4), e *hummocky* (Figura 4) se formam através de desenvolvimento lateral progressivo de superfícies deposicionais levemente inclinadas, chamadas de clinofomas. As diferenças entre os padrões das clinofomas ocorrem em função das diferentes taxas de aporte sedimentar e criação ou destruição de espaço para acomodação, uma variedade de ambientes deposicionais é possível, e ocorrem em unidades com diversas formas externas (Figura 5). A configuração progradante sigmoide se caracteriza pela sobreposição lateral das reflexões em forma de "S", através de uma construção progressiva em superfícies que mergulham suavemente para porções mais profundas. Essa configuração pode ser dividida em três segmentos, um segmento superior pouco espesso, que apresenta mergulhos com baixo ângulo ou horizontais, concordantes com a superfície superior da sismofácies; um segmento mediano espesso, que forma lentes sobrepostas permitindo a sucessiva deposição de lentes mais jovens em direção ao fundo (depocentro), formando padrões progradantes, com ângulos deposicionais baixos, menores que 1°; e, um segmento inferior pouco espesso, que chega à superfície inferior da sismofácies a ângulos muito baixos, onde os refletores sísmicos mostram terminações em *downlap* real ou aparente, como as terminações dos estratos, ou se tornam muito finos para serem reconhecidos em seções sísmicas. Contudo, em sessões sísmicas paralelas com o *strike* deposicional, os refletores indicam que a deposição é paralela e concordante com os limites das sismofácies (Mitchum *et al.*, 1977b). A característica mais distintiva dessa configuração é o paralelismo, concordância dos refletores nos segmentos superiores e inferiores, sugerindo uma diminuição da agitação nos seguimentos

superiores que coincide com a progradação dos refletores nos segmentos da porção mediana da configuração (Mitchum *et al.*, 1977b). Essa configuração sugere baixo aporte sedimentar, subsidência contínua ou rápida subida relativa do nível do mar, em um ambiente de baixa energia de deposição, e preservação das unidades de topo (Mitchum *et al.*, 1977b). A configuração progradante oblíqua tangencial (Figura 4) é idealmente interpretada como uma série de estratos relativamente íngremes terminando para cima em *toplap* contra uma superfície superior quase plana, e para baixo em *downlap* real ou aparente (como as terminações dos estratos, ou quando se tornam muito finos para serem reconhecidos em seções sísmicas), diminuindo gradualmente o mergulho dos estratos nas porções inferiores, passando a apresentar mergulhos suaves e paralelismo dos segmentos estratais em direção ao fundo (depocentro), formando camadas côncavas para cima. Na configuração progradante oblíqua paralela (Figura 4), os estratos com mergulhos relativamente íngremes terminam para cima em *toplap* contra uma superfície superior quase plana, e em *downlap* com alto ângulo contra a superfície inferior (Mitchum *et al.*, 1977b). Em seções paralelas com o *strike* deposicional, as reflexões nessas unidades de sismofácies podem variar de paralela para oblíqua de baixo ângulo ou progradacional sigmóide, possivelmente em pequenas configurações de canais de preenchimento (Figura 5).

A configuração progradante oblíqua (tangencial ou paralela) implica em condições deposicionais com alguma combinação relativamente elevada de aporte sedimentar, baixa ou nenhuma subsidência, e nível do mar estático para permitir um rápido preenchimento da bacia, *by-pass* sedimentar ou obliteração da superfície superior (Mitchum *et al.*, 1977b). A configuração progradante complexo sigmóide oblíquo (Figura 4) é a combinação de uma alternância variável das configurações sigmoidal e oblíquas dentro de uma mesma sismofácies (Mitchum *et al.*, 1977b). O segmento superior dessa sismofácies é caracterizado por uma alternância complexa de reflexões horizontais sigmóides no topo e segmentos de configuração progradante oblíqua com terminações em *toplap*, contudo, em outros aspectos, essa configuração é similar à configuração sigmóide. Essa configuração é interpretada como sendo originada num ambiente deposicional de alta energia, onde ocorre a alternância de processos construtivos sigmóides e *by pass* sedimentar nos segmentos superiores, ilustra curtos segmentos de *toplap* dentro de uma sequência que indicam um número sequências de pequena escala cujos limites estão abaixo da resolução sísmica, exceto onde o *toplap* é proeminente (Mitchum *et al.*, 1977b). Essas unidades de escala menor são comumente

interpretadas como lobos discretos de uma unidade deposicional progradante. A configuração progradante *shingled* (Figura 4) é um padrão de progradação de pequena espessura, comumente com limites inferiores e superiores paralelos, cujos refletores internos oblíquos paralelos apresentam suaves mergulhos terminando em aparente *toplap* e *downlap*. Sucessivos refletores internos oblíquos dentro da unidade mostram pequeno *overlap* com os outros refletores, sendo que essa é a configuração mais comum em sismofácies interpretadas como unidades deposicionais progradantes em águas rasas (Mitchum *et al.*, 1977b). A configuração de reflexão clinofórmula *hummocky* (Figura 4) consiste em segmentos irregulares de reflexões subparalelas descontínuas formando um padrão *hummocky* praticamente aleatório marcado por terminações de reflexão não sistemáticas e discordantes (Mitchum *et al.*, 1977b). O relevo da configuração *hummocky* é baixo, aproximando-se dos limites da resolução sísmica, sendo que esse padrão comumente grada lateralmente para grandes padrões clinofórmes bem definidos, e, para cima, em reflexões paralelas. Esse padrão é geralmente interpretado como estratos formando pequenas construções interdigitadas de lobos clinofórmes em água rasa em um prodelta ou em uma posição interdeltáica (Mitchum *et al.*, 1977b). Variações dentro das configurações comumente podem ser descritas com termos modificadores, que podem ser utilizados ou modificados, para atender a necessidades particulares, para que ocorra uma melhor descrição de variações menores nos padrões básicos das configurações de refletores.

Os limites externos das sismofácies podem ser identificados por uma série de terminações de reflexões contra uma reflexão comum, por uma reflexão conformável que limita uma configuração particular, ou por um limite arbitrário dentro da sequência através de uma mudança gradacional de continuidade, amplitude, frequência, ou intervalo de velocidade (Mitchum *et al.*, 1977b). Após o reconhecimento e interpretação das configurações internas das sismofácies, a identificação das formas externas é uma etapa muito importante, pois é um fator determinante na interpretação da inter-relação geometria e ambiente deposicional. São eles: lençóis, lençóis drapeados, cunhas, bancos, lentes, *mounds* e preenchimentos (Figura 5). Os tipos mais comuns de formas externas são os lençóis, cunhas e bancos (Figura 5), amplamente encontrados em sismofácies plataformais, sendo que as configurações internas mais comuns dentro dessas formas são as configurações paralelas, divergentes, e progradantes (Figura 4). Os lençóis drapeados (Figura 5) comumente consistem em reflexões paralelas interpretadas como estratos drapeados sobre uma topografia subjacente em um

padrão sugerindo deposição uniforme, de baixa energia, e marinha profunda independente do relevo de fundo (Mitchum *et al.*, 1977b). As lentes (Figura 5) podem ocorrer em diversas associações de sismofácies, mas são mais comuns como formas externas de sismofácies com configuração cliniformes prográdantes (Figura 4) (Mitchum *et al.*, 1977b). *Mounds* e preenchantos (Figura 5) são grupos de formas derivadas de estratos de diversas origens, formando proeminências ou depressões de preenchimento sobre as superfícies deposicionais (Mitchum *et al.*, 1977b). São configurações interpretadas como estratos que formam elevações ou proeminências, elevando-se acima do nível geral dos estratos circundantes, sendo que, em sua maior parte são acúmulos topográficos resultantes de processos deposicionais clásticos, vulcânicos, ou por crescimentos orgânicos (Mitchum *et al.*, 1977b). São caracterizadas por *onlap* ou *downlap* dos estratos subjacentes que preenchem ao redor dos *mounds* e, por causa da origem diversa, podem ter diversas subdivisões, formas externas e configurações internas (Mitchum *et al.*, 1977b).

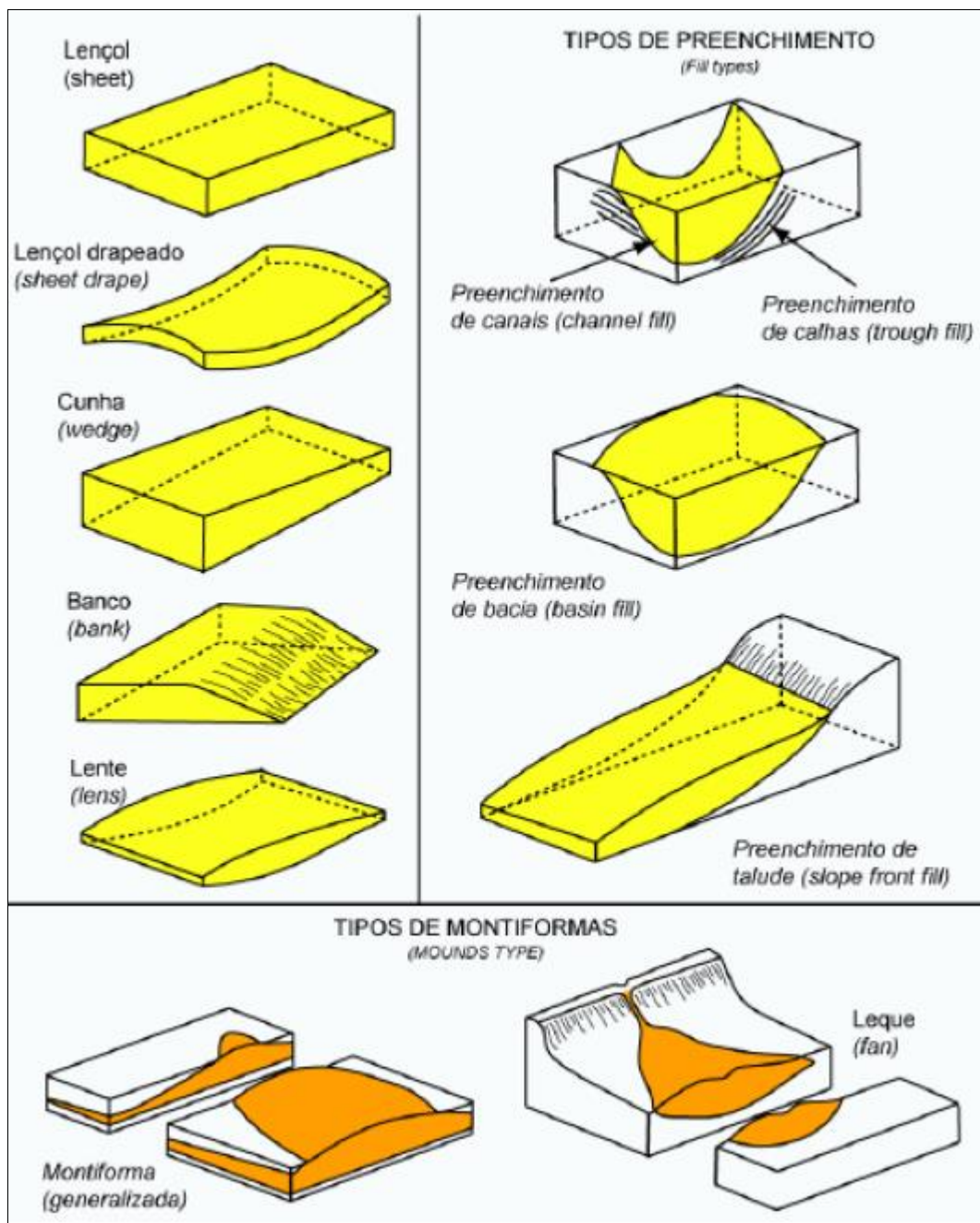


Figura 5. Tipos de formas externas (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Mitchum *et al.*, 1977b).

Os principais tipos de *mounds* são o *Fan* complexo simples, *Fan* complexo composto, *Escorregamento*, *Mound* contorcido, *Migrating Wave* e *Mound* vulcânico, e o *mounds* carbonáticos (Figura 6).

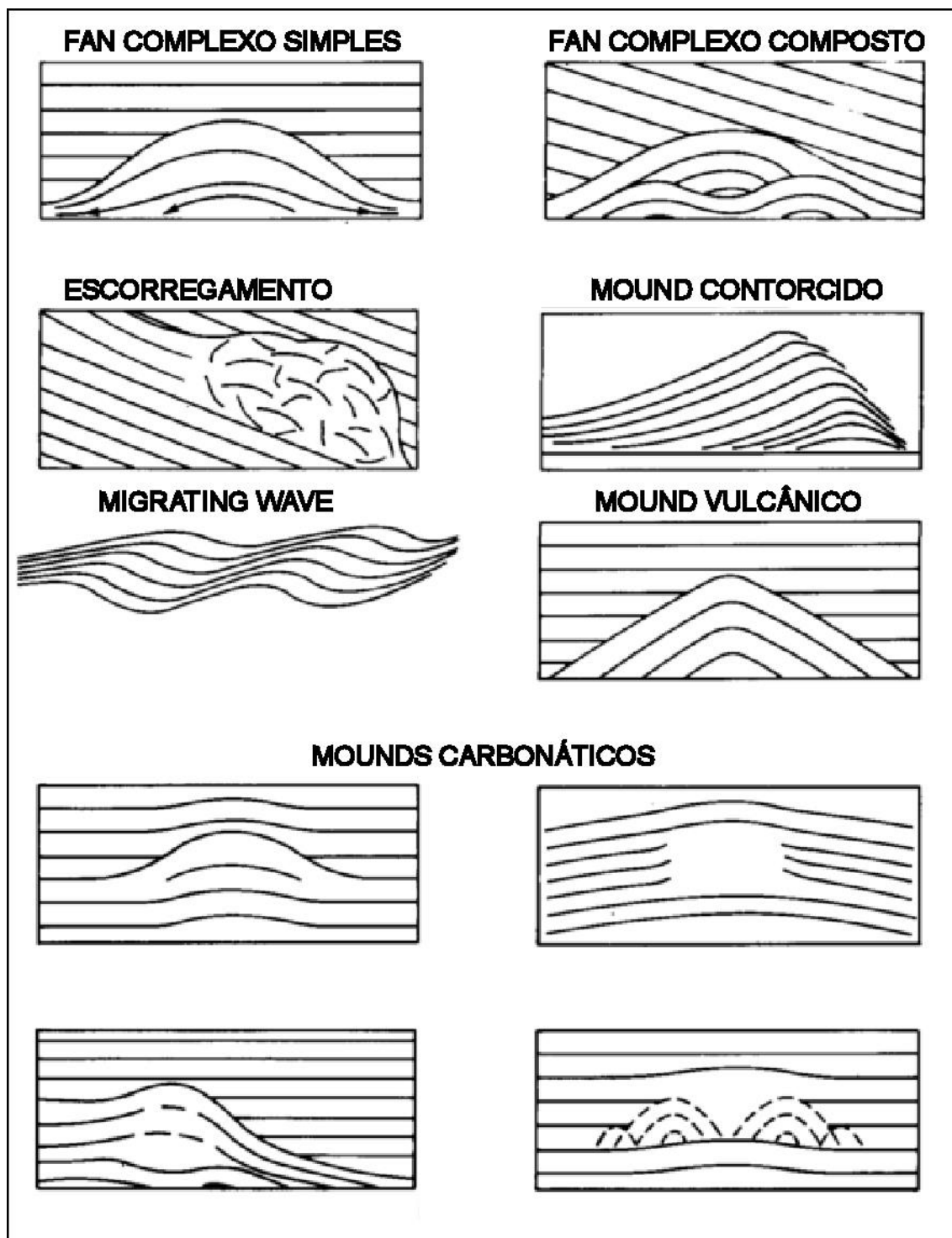


Figura 6. Tipos de mounds (Modificado de Mitchum *et al.*, 1977).

3.2. Modelo Teórico

Como as teorias e conceitos citados anteriormente foram desenvolvidos a partir da observação de bacias do tipo margem passiva, eles não podem ser diretamente aplicados a bacias do tipo rifte, pois os riftes possuem variáveis controladoras muito distintas. Por possuir sua gênese relacionada a um ambiente tectonicamente ativo, ligado à abertura do oceano atlântico e, por possuir o seu desenvolvimento e preenchimento ligado a pulsos tectônicos, a análise estratigráfica da sessão rifte da Bacia de Campos será realizada a partir do modelo e dos conceitos desenvolvidos por Kuchle & Scherer (2010), sintetizado na figura Figura 7.

O modelo é baseado no arranjo dos sistemas deposicionais (padrões de empilhamento) para determinação das fases evolutivas de uma bacia rifte, suas superfícies limitrofes e as relações entre variáveis controladoras. Propicia a interpretação e mapeamento sistemático sismoestratigráfico de bacias do tipo rifte baseado em conceitos genéticos, a interpretação temporal de unidades baseadas em conceitos derivados de variáveis controladoras dos eventos deposicionais e erosivos e expressos em tendências deposicionais, padrões de empilhamento (Kuchle & Scherer, 2010). A análise fundamenta-se no reconhecimento das unidades sismoestratigráficas que compõem os tratos de sistemas tectônicos – unidades básicas de mapeamento. Estes tratos de sistemas são formados por padrões de empilhamento específicos para cada porção do meio-gráben, e, conforme estes padrões de empilhamento retratam mudanças do espaço de acomodação, superfícies estratigráficas e padrões de terminações de refletores são estabelecidos (Kuchle & Scherer, 2010).

O Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte (Figura 7) é delimitado por um truncamento erosivo na base, sobre os estratos da fase pré-rifte (Discordância Sin-Rifte). Seus refletores apresentam um padrão plano-paralelo e continuidade comumente baixa, uma vez que se relacionam a sistemas fluviais (que não desenvolvem boa continuidade devido aos sucessivos cortes de canais que o sistema apresenta) e lacustres (como são lagos rasos e de pouca expressividade, facilmente recobertos por depósitos fluviais, também são lateralmente descontínuos). Na margem flexural, observa-se um truncamento erosivo que envolve o somatório das discordâncias internas do rifte com a discordância do pós-rifte. Sua terminação no *hangingwall* dá-se contra a falha de borda, indicando uma deposição anterior ao falhamento (Kuchle & Scherer, 2010).

O Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben (Figura 7) é representado por uma seção suavemente em cunha (proto-calha), também com truncamento erosivo da discordância pós-rifte, na margem flexural, e terminação contra a falha de borda. Seu limite basal é marcado por refletores concordantes na região central da calha e discretos *onlaps* na margem flexural, retratando o evento de inundação da base. Seu padrão de reflexão interno é plano-paralelo ou discretamente divergente e seus refletores são descontínuos por representarem depósitos fluviais e lacustres restritos (Kuchle & Scherer, 2010).

O Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rifte (Figura 7) possui geometria externa em forma de cunha e diversos truncamentos internos. Em sua base, é marcado por uma série de *onlaps* na margem flexural e concordâncias no depocentro. O padrão interno de reflexões está diretamente relacionado aos sistemas deposicionais envolvidos. Os primeiros depósitos de leques deltaicos associados à falha de borda ocorrem como refletores caóticos, sem continuidade, de amplitude extremamente variável (desde baixa até muito alta). Discretas sigmóides de progradação são observadas ao longo da margem flexural, porém, logo desaparecem, devido ao caráter intensamente retrogradante da fase. Estas sigmóides representam depósitos de margem lacustre, como deltas e praias. Lateralmente, refletores plano-paralelos intensos representam sedimentos finos distais da região costeira da margem flexural. Em meio a eles podem ocorrer geometrias em *mounds*, representando escorregamentos (*slumps*).

Falhamentos internos, comuns na margem flexural, podem disparar escorregamentos desta margem em direção ao depocentro profundo do lago, gerando corpos isolados, com deformações interna e externa variáveis, representados por refletores internos caóticos. A região profunda, associada ao depocentro do meio-gráben, caracteriza-se por refletores caóticos, de baixa amplitude e sem continuidade lateral. São ainda observados diversos truncamentos internos, geralmente com geometria de envelope, *drapes* ou contato lateral direto com os depósitos de margem lacustre, escorregamentos ou leques deltaicos. Estes refletores caóticos são interpretados como produto de sistemas lacustres profundos e turbiditos associados a descargas axiais ao rifte. Como o padrão de empilhamento do Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rifte é retrogradante, acabam desaparecendo os depósitos de margem lacustre, passando a dominar, em direção ao topo, os depósitos lacustres profundos (refletores caóticos), enquanto as cunhas dos leques deltaicos avançam, progredando em direção ao depocentro. Este trato tende a apresentar um padrão divergente interno, decorrente de um

progressivo acréscimo na taxa de geração de acomodação em direção à falha de borda. Devido à intensa expansão do sistema de meio-gráben durante esta fase e sua subsequente erosão na fase de Final do Rifte, é comum este intervalo encontrar-se truncado na margem flexural. A Superfície de Máximo Rifteamento é demarcada na maior expansão dos sistemas de refletores caóticos do ambiente lacustre profundo e no nível de maior avanço sobre a margem flexural dos *mounds* associados a escorregamentos, juntamente com a maior progradação dos depósitos relacionados à falha de borda (caóticos de alta amplitude). Nas porções proximais da margem flexural, a Superfície de Máximo Rifteamento torna-se uma discordância, mas como nesta fase ocorre uma ampla expansão da bacia, a zona de discordância da Superfície de Máximo Rifteamento é comumente removida por processos erosivos posteriores relacionados à fase de Final do Rifte ou à Discordância de Pós-Rifte (Kuchle & Scherer, 2010).

Por fim, o Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte (Figura 7) marca o momento de progradação na margem flexural, observando-se um drástico recuo dos refletores caóticos lacustres profundos, o desaparecimento progressivo dos *mounds* de escorregamentos e o domínio de refletores intensos e contínuos juntamente com clinofomas progradantes, que representam os depósitos marginais lacustres. Na região da falha de borda ocorre o recuo dos depósitos de leques deltaicos até seu desaparecimento. O topo deste trato é marcado pela Discordância de Pós-Rifte e, como resultado do rearranjo estrutural desta fase, são comuns os truncamentos erosivos afetando as fases anteriores. Juntamente com as clinofomas de margem lacustre, sistemas continentais representados por refletores de amplitude variável, pouco contínuos e plano-paralelos, podem ocorrer oriundos da margem flexural e axialmente. Em virtude das baixas taxas de criação do espaço de acomodação e elevado aporte sedimentar, zonas de *bypass* e truncamentos erosivos internos podem ocorrer, gerando uma série de discordâncias de frequência maior (Kuchle & Scherer, 2010).

Como as unidades sismoestratigráficas apresentam um caráter temporal a partir do modelo simplificado geométrico da bacia rifte e de seu preenchimento (Figura 7a e Figura 7b), é possível desenvolver a carta cronoestratigráfica da seção (Figura 7c). Embora o modelo de Kuchle & Scherer (2010) apresente de forma bem definida o arranjo dos sistemas deposicionais e sua caracterização como fundamental para a definição dos padrões de empilhamento e tratos de sistemas tectônicos, a análise de seções rifte fora da bacia exemplo (Bacia do Recôncavo) pode apresentar sistemas deposicionais bem distintos, o que acarretaria em

sismofácies bem diferentes das previstas no modelo original. Adicionalmente, o modelo básico prevê um grande pulso tectônico (clímax do rifte), mas a evolução de um rifte pode apresentar uma recorrência de eventos tectônicos, podendo gerar tratos de sistemas tectônicos adicionais ou até suprimir determinados tratos.

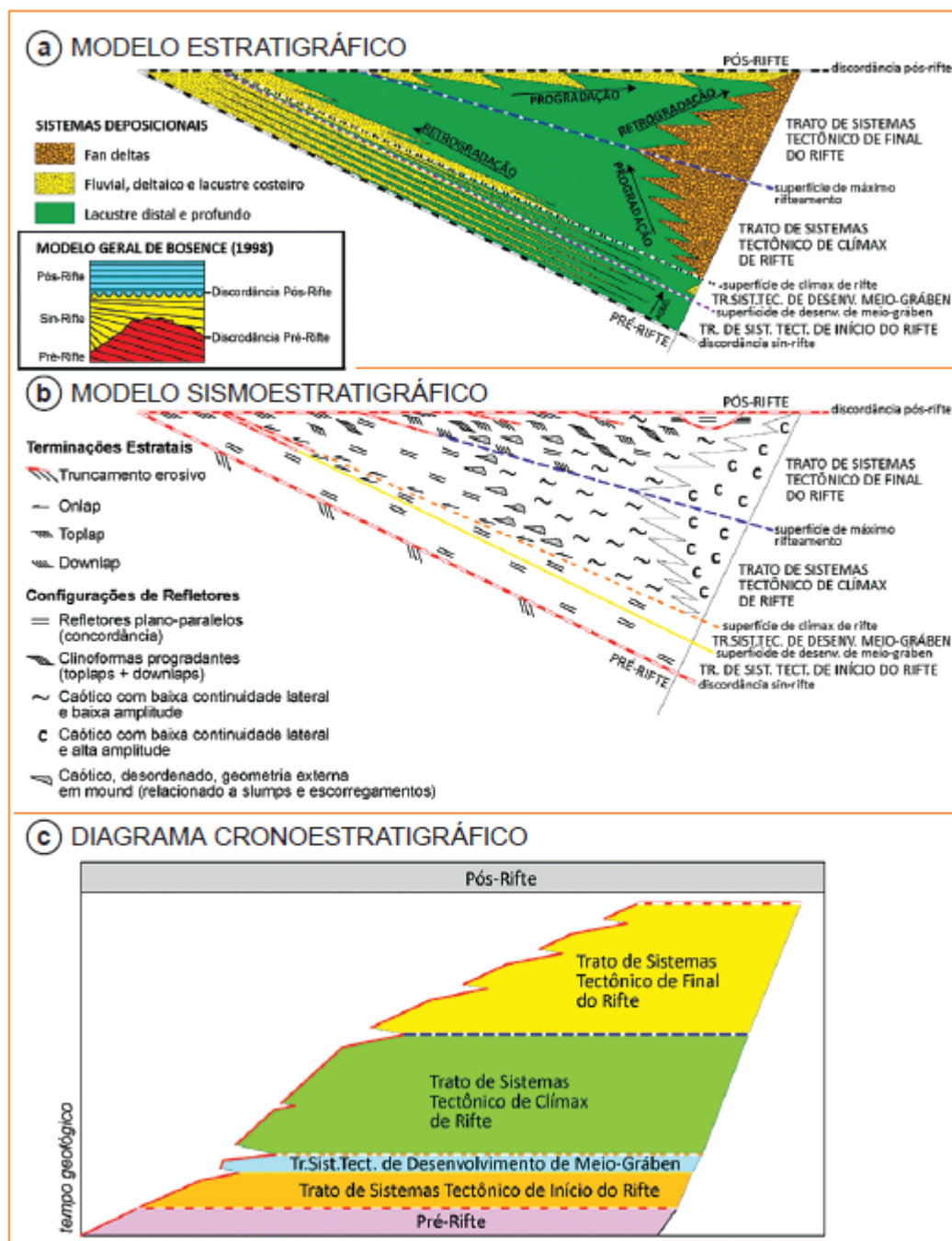


Figura 7. Tratos de sistemas tectônicos. Fonte: Modificado de Kuchle & Scherer, 2010.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Linha sísmica Dip 1

A Linha Sísmica dip 1, LSD1, encontra-se localizada na região sudoeste da bacia de Campos, a sudoeste das linhas dip 2 e 3, e possui orientação NW-SE (Figura 8). A estrutura identificada possui forma de meio-gráben, apresentando uma margem flexural a leste, uma margem com o desenvolvimento de uma falha de borda a oeste, com caimento para leste, conforme apresentado na Figura 9, linha sísmica não-interpretada.

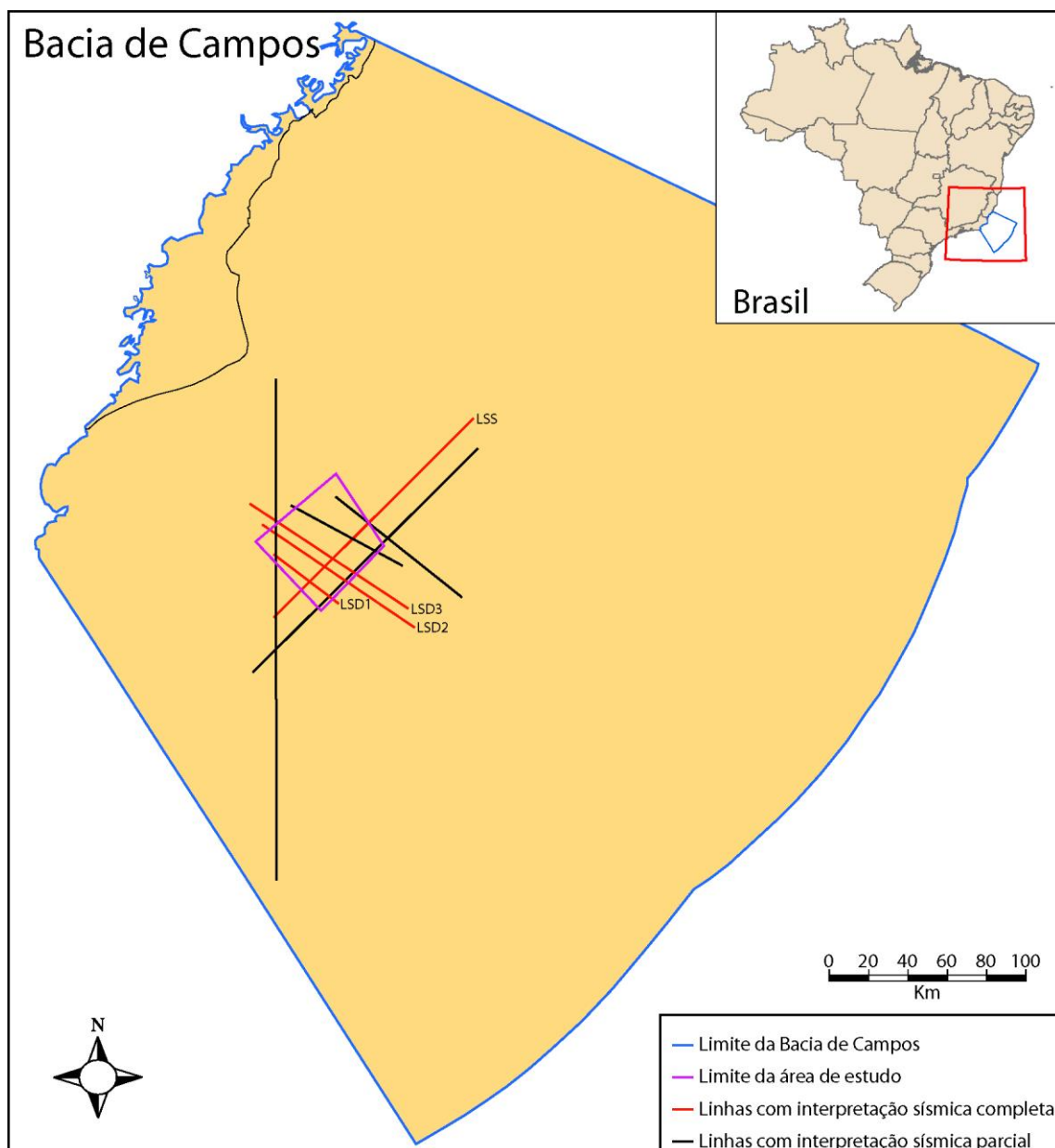


Figura 8. Mapa de localização da área de estudo com detalhe para a orientação das linhas sísmicas interpretadas.

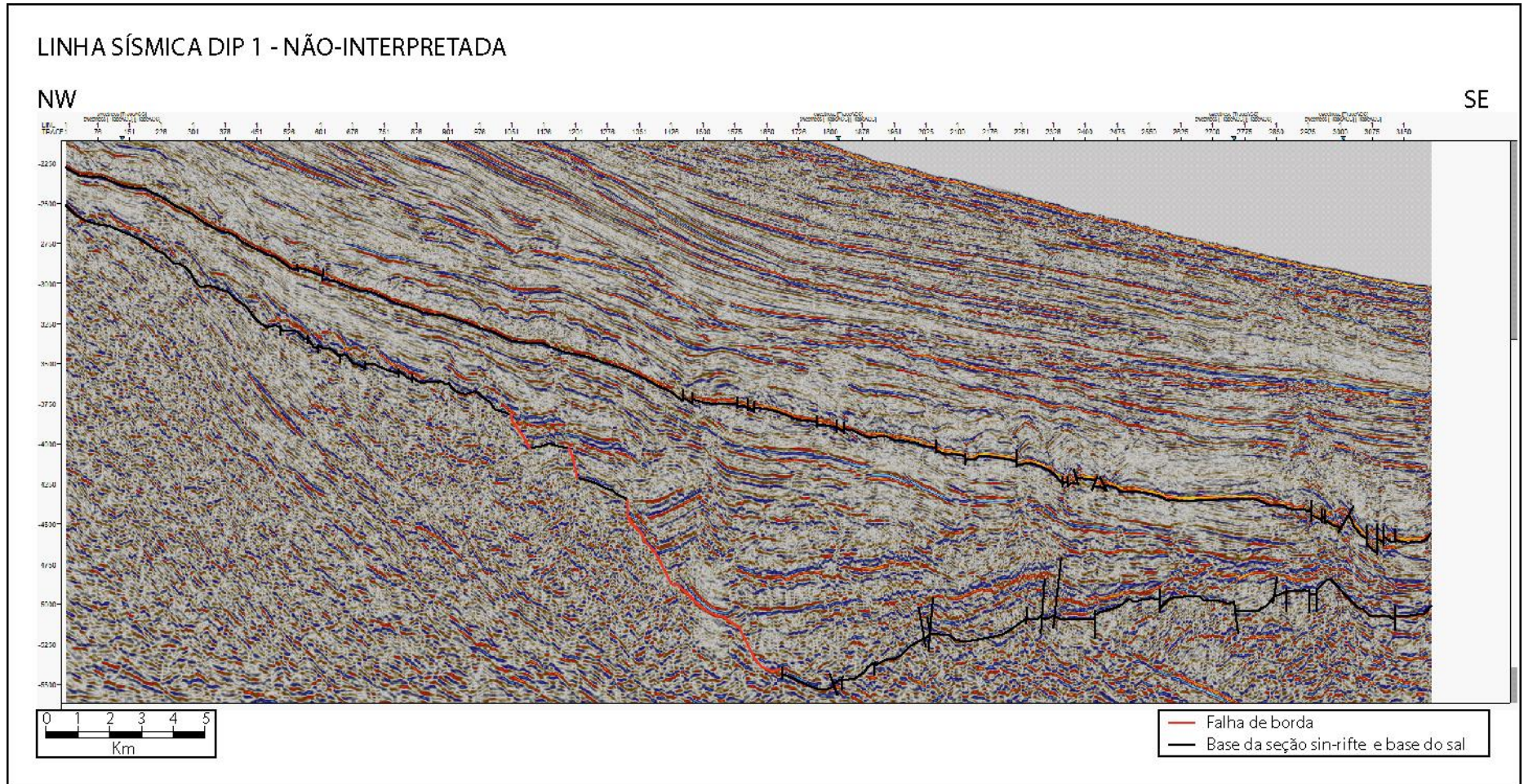


Figura 9. Meio-gráben identificado na linha sísmica dip 1, com borda de falha (em vermelho) localizada a W e borda flexural a E. A base e o topo da seção sin-rifte são marcados pelos horizontes mapeados em preto.

A análise inicial da área de estudo se deu a partir da interpretação dos refletores da LSD 1, conforme a Figura 10, que, na porção basal do meio-gráben, apresentam, predominantemente, média a alta continuidade e elevada amplitude, conforme a Figura 11a, e encontram-se lateralmente relacionados a refletores caóticos, de baixa continuidade, e média a baixa amplitude, conforme a Figura 11b, localizados junto à falha de borda ou encaixados entre falhas desenvolvidas na base desse meio-gráben, representadas na Figura 9 e Figura 10.

Na porção central desse meio-gráben ocorrem, predominantemente, refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 11c), que ocorrem lateralmente relacionados a uma ocorrência menor de refletores de média a alta continuidade e alta amplitude (Figura 11a), e a uma ocorrência menor ainda de refletores caóticos de média a baixa amplitude (Figura 11b), posicionados junto à falha de borda (Figura 10).

Na porção superior dessa estrutura, ocorrem refletores de média continuidade e baixa amplitude (Figura 11c), refletores de elevada continuidade e baixa amplitude (Figura 11d), e refletores de média a alta continuidade e elevada amplitude (Figura 11a) em quantidades equivalentes, lateralmente relacionados a um maior desenvolvimento de refletores caóticos de média a baixa amplitude (Figura 11b), posicionados junto à falha de borda, representada na Figura 9 e Figura 10, porém, ainda em quantidade menor em relação aos outros refletores desta porção.

Quando muda a atividade tectônica, ocorre o extravasamento da deposição para fora da estrutura. Isso ocorre devido a parada ou diminuição da atividade da falha de borda, o que acarreta em inexistência da deposição dos refletores caóticos (Figura 11b) relacionados à falha de borda (Figuras 9 e 10), ocorrendo apenas a deposição dos refletores média a alta continuidade e alta amplitude (Figura 11a), dos refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 11c), e dos refletores contínuos de baixa amplitude (Figura 11d) em quantidades mais ou menos equivalentes. No topo da área de estudo ocorre um intervalo com pelo menos três tipos de refletores, porém, essa região não será analisada (Figura 12), pois ela se encontra em uma fase sag – pós-rifte, fora do intervalo de estudo da presente monografia.

LINHA SÍSMICA DIP 1 - INTERPRETAÇÃO DE REFLATORES E TERMINAÇÕES

NW

SE

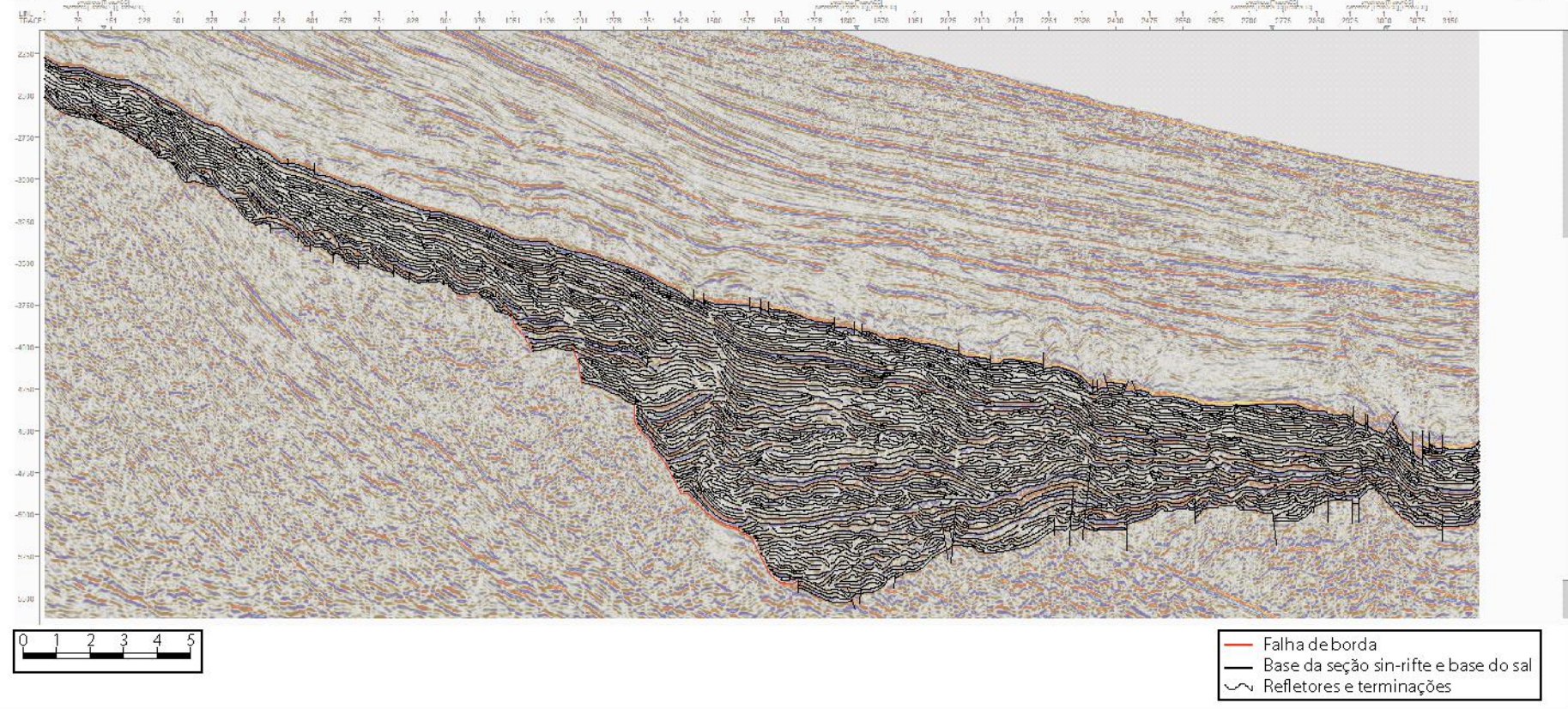


Figura 10. Interpretação completa dos refletores realizada a partir da interpretação da LSD1, com a seção sísmica ao fundo com 50% de transparência para melhor visualização da interpretação individual dos refletores e suas terminações.

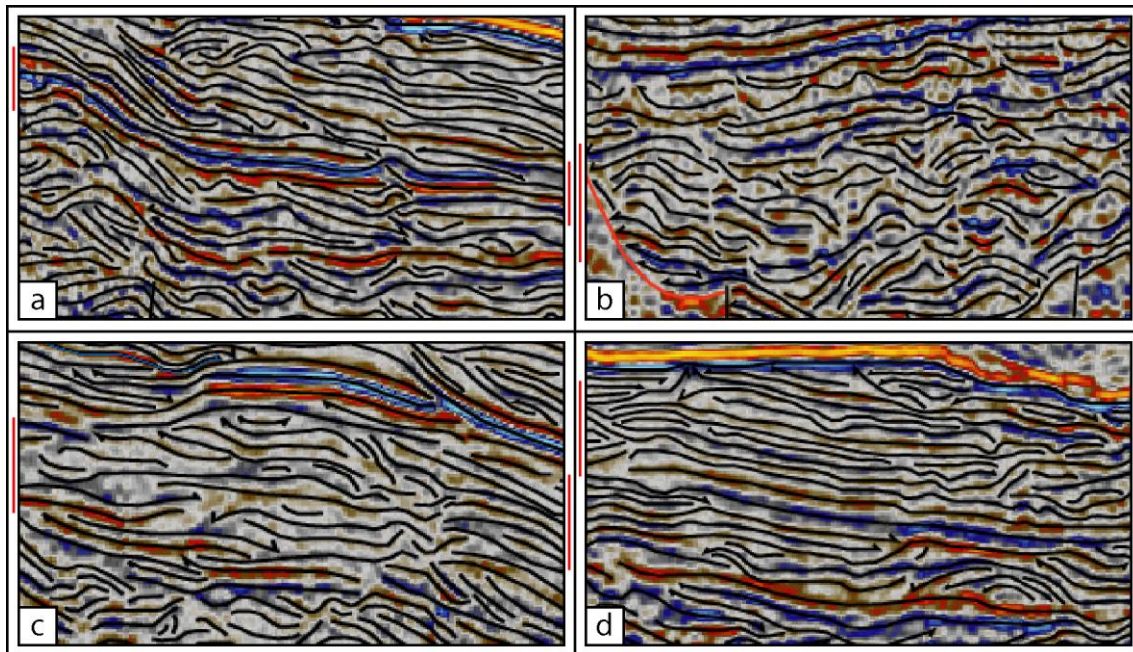


Figura 11. Exemplos de refletores identificados; a) refletores de média alta continuidade e elevada amplitude; b) refletores de baixa continuidade e média a baixa amplitude; c) refletores de média continuidade e média a baixa amplitude; e d) refletores contínuos de baixa amplitude.

LINHA SÍSMICA DIP 1 - NÃO ANALISADA

NW

SE

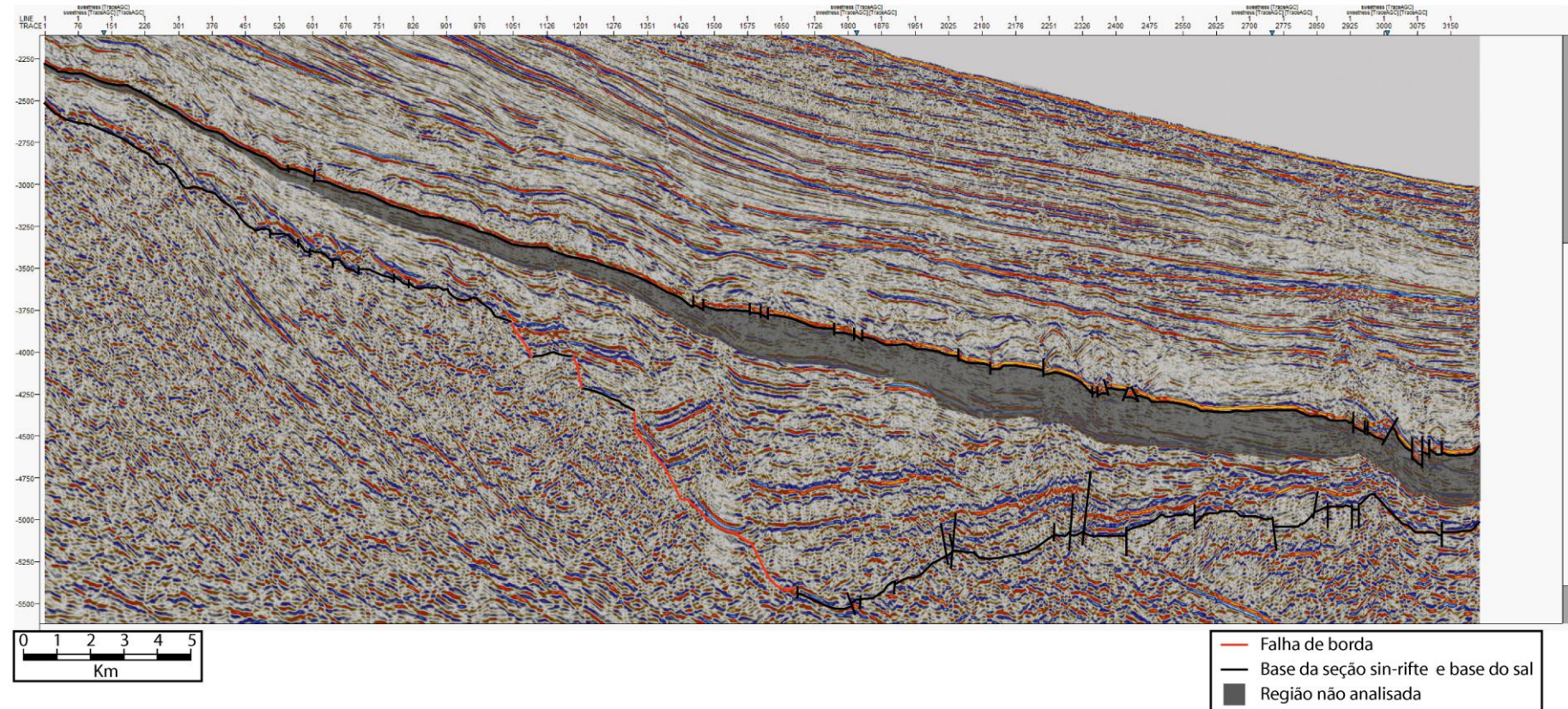


Figura 12. Seção não analisada – fase sag, pós-ribe.

As terminações identificadas na porção inferior do meio-gráben, junto à falha de borda, são terminações geradas por atividade tectônica e não por deposição sedimentar e, portanto, não serão abordadas como terminações deposicionais (Figura 13a). Porém, nessa porção inferior ocorrem diversas terminações em downlap em direção à margem flexural (Figura 13b) e truncamentos erosivos em menor quantidade (Figura 13c). Na porção central da estrutura as terminações geradas por atividade tectônica que ocorrem junto à falha de borda foram identificadas, juntamente com a ocorrência de uma grande quantidade de terminações em downlap terminando sistematicamente sobre a mesma superfície (Figura 13d), e uma menor quantidade de truncamentos erosivos (Figura 13e). Na porção superior dessa estrutura ocorrem sucessivas terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, uma menor quantidade de terminações em downlap em relação às porções mais basais (Figura 13f), e uma maior quantidade de truncamentos erosivos (Figura 13g). Fora da estrutura de meio-gráben ocorrem escassas terminações em onlap, diversas terminações em downlap e truncamentos erosivos aleatórios (Figura 13h, Figura 13i, e Figura 13j, respectivamente).

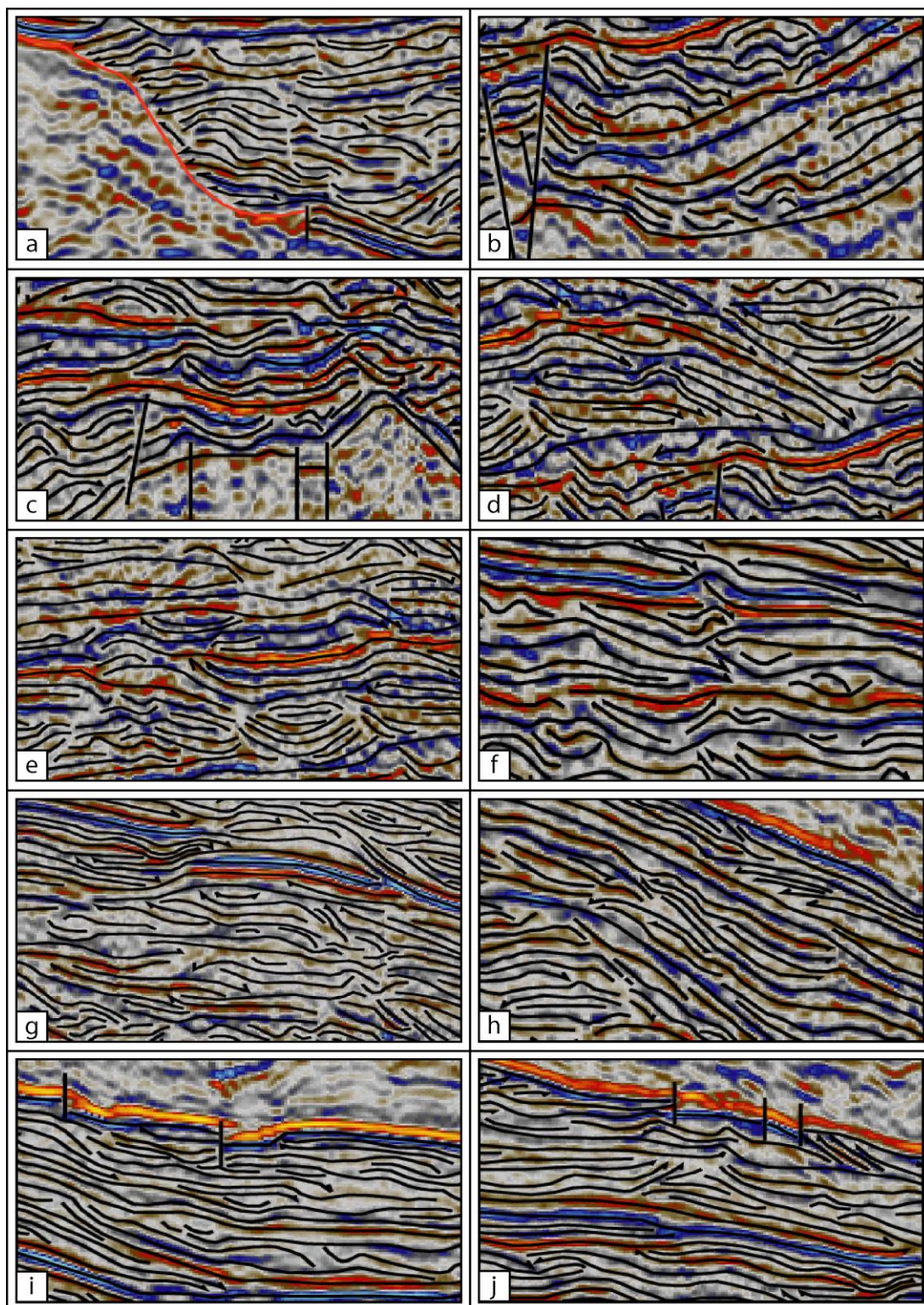


Figura 13. Exemplos de terminações de refletores; a) terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, W da LSD1; b) terminações em downlap em direção à margem flexural, E da porção basal da LSD1; c) truncamentos erosivos que ocorrem na porção basal da LSD1; d) diversas terminações em downlap contra uma mesma superfície, região central da LSD1; e) truncamentos erosivos que ocorrem na região central da LSD1; f) terminações em downlap da porção superior da estrutura; g) truncamentos erosivos que ocorrem na porção superior da estrutura, em maior quantidade; h) algumas terminações em onlap que ocorrem na região superior da LSD1; i) terminações em downlap que ocorrem na região superior da LSD1, e; j) e diversos truncamentos erosivos que ocorrem nessa região superior.

Nesse meio-gráben foram identificadas 11 unidades sismoestratigráficas a partir das sucessivas terminações de refletores, numeradas da base para o topo (Figura 14). As unidades 1 e 2 ocorrem a partir da falha de borda a W (Figura 14), e se estabelecem para além da área de estudo a E, e tem a sua deposição afetada pelos falhamentos desenvolvidos na base da estrutura (Figura 14). A unidade 3 inicia junto à falha de borda, a W (Figura 14), termina contra a unidade 2 a E, mais ou menos na porção mediana do topo dessa unidade (Figura 14), e também é afetada por uma grande falha que se propaga da base da estrutura e que também afeta as unidades 1 e 2 (Figura 14). A unidade 4 inicia a W a partir da margem falhada (Figura 14) e também termina contra a unidade 2, em downlap, porém, mais em direção à margem flexural (Figura 14). Assim como a unidade 4, a unidade 5 inicia a W na falha de borda (Figura 14) e termina mais a E, em direção à margem flexural, em downlap contra a unidade 2, recobrindo a unidade 4 (Figura 14). A unidade 6 se desenvolve desde a falha de borda (Figura 14) até a porção média da unidade 5 (Figura 14). Na porção basal da unidade 7, ocorre a deposição contra a falha de borda a W (Figura 14), porém, em direção ao topo, ocorre o extravasamento para fora da estrutura, com a deposição se estabelecendo para fora da área de estudo, tanto para W (Figura 14), quanto para E (Figura 14). A unidade 8 se estabelece para além da área de estudo a W (Figura 14), e a E, termina contra a unidade 7 (Figura 14), assim como a unidade 9, que termina contra a unidade 10 a W (Figura 14) e contra a unidade 7 a E (Figura 14), e provavelmente teve seus refletores removidos por essa unidade. A unidade 10, a W, se estende para fora da área de estudo (Figura 14) e a E termina em downlap contra a unidade 7 (Figura 14). E, por fim, a unidade 11, que a W termina contra a unidade 10 (Figura 14) e a E se estende para além da área de estudo (Figura 14).

LINHA SÍSMICA DIP 1 - UNIDADES SISMOESTRATIGRÁFICAS

NW

SE

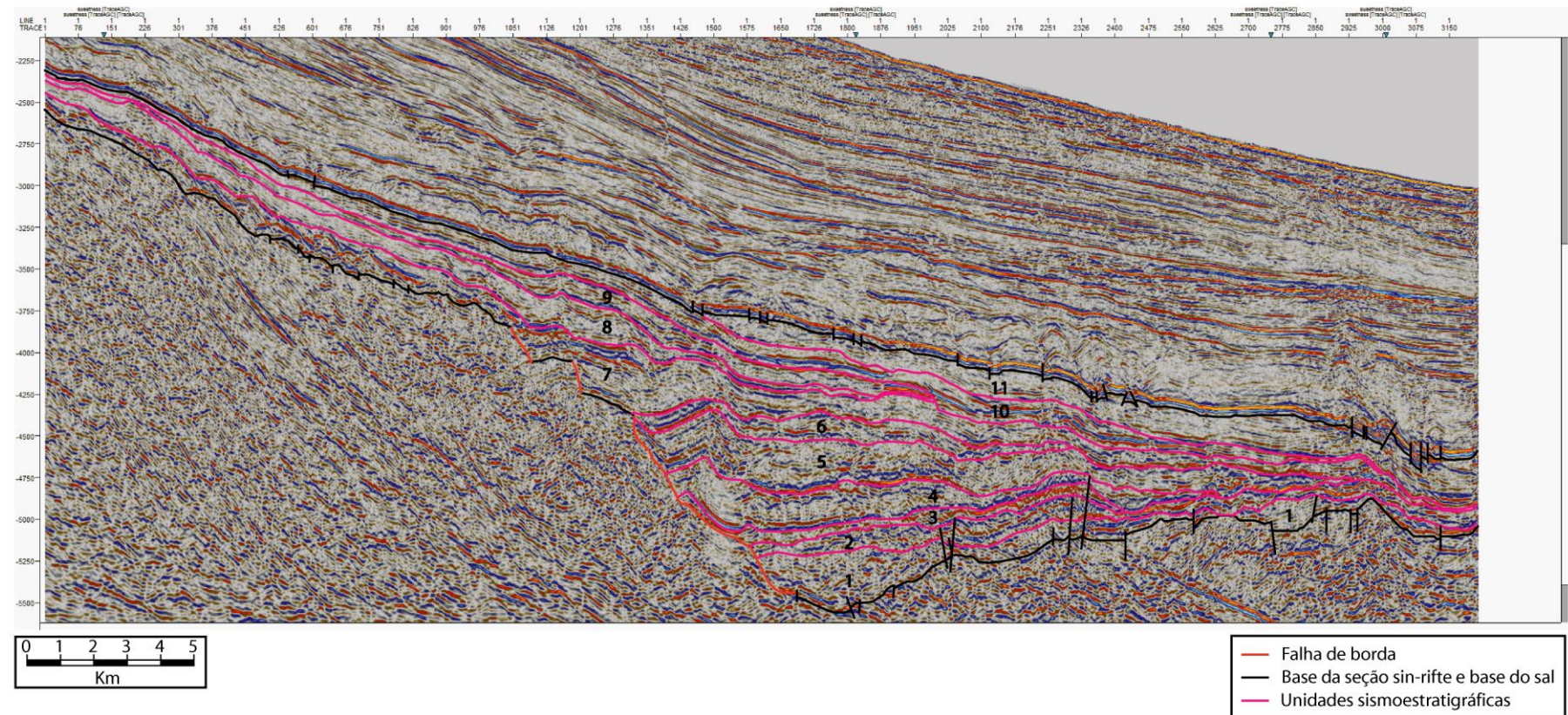


Figura 14. Unidades Sísmoestratigráficas identificadas, delimitadas pelas superfícies mapeadas (horizontes rosa).

Além das unidades sismoestratigráficas, que representam unidades deposicionais sísmicas relacionadas a tempos específicos, foram também caracterizadas sismofácies, que são padrões de reflexões relacionados a ambientes de sedimentação e sistemas deposicionais específicos. Assim, foram identificadas e caracterizadas quatro sismofácies (denominadas de A, B, C e D). Na LSD1, ocorrem 4 das 5 sismofácies identificadas na área de estudo (Figura 15 e Figura 16). A sismofácies A possui refletores caóticos de média a baixa amplitude que ocorrem na unidade 1, 4 e 7, associados, principalmente, a falha de borda, porém, ocorrem também, em menor quantidade, associados a falhas que afetam a base do meio-gráben (Figura 15 e Figura 16a). A sismofácies B possui refletores de média a alta continuidade e alta amplitude que ocorrem desde a unidade 1 até a unidade 9, tendo a sua deposição mais expressiva na unidade 2 e 3, e menos expressiva nas unidades 4 e 8 (Figura 15 e Figura 16b). A sismofácies C possui refletores de média a baixa continuidade e média a baixa amplitude e refletores de média a alta continuidade e média a baixa amplitude, se estabelece desde a unidade 4 até a unidade 9, possuindo deposição mais significativa na unidade 8 e 5, e menos expressiva na unidade 6 (Figura 15 e Figura 16c). E, por fim, a sismofácies D, que compreende refletores de baixa amplitude, contínuos, com localizadas ocorrências de refletores de alta amplitude. Esta sismofácies não será discutida, pois se encontra no intervalo não analisado (Figura 12, Figura 15 e Figura 16d).

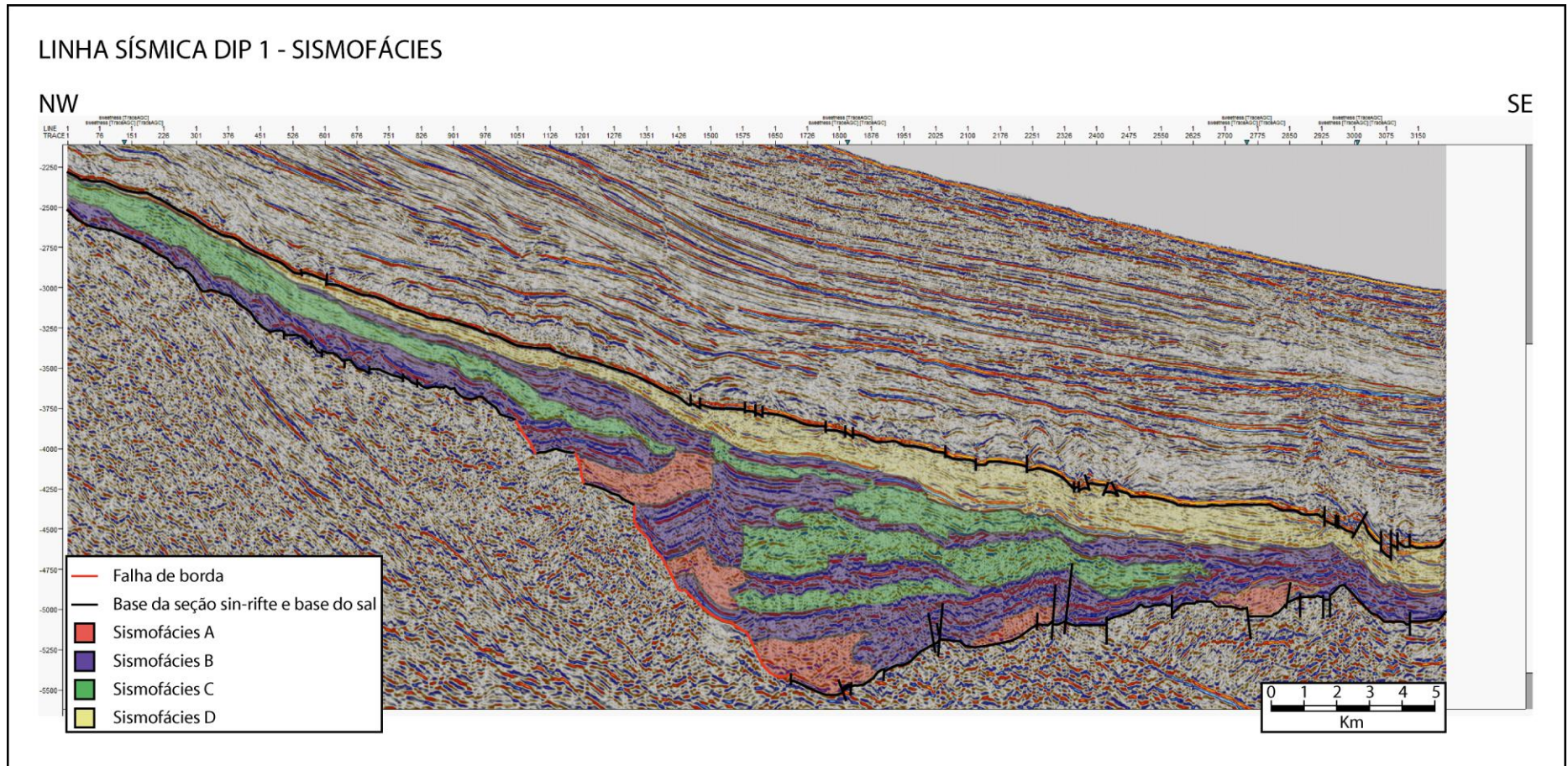


Figura 15. Sismofácies identificadas na LSD1. Sismofácies A ocorrendo junto à falha de borda e a falhas da base do meio-gráben e lateralmente associada as sismofácies B e C; sismofácies B amplamente distribuída, da base ao topo da seção analisada e da margem falhada a margem flexural do meio-gráben, e lateralmente relacionada as sismofácies A e C; sismofácies C ocorrendo da porção central a porção superior do meio-gráben e lateralmente relacionada as sismofácies A e B, principalmente, e; sismofácies D com ocorrência limitada ao topo da área de estudo, na fase sag da bacia.

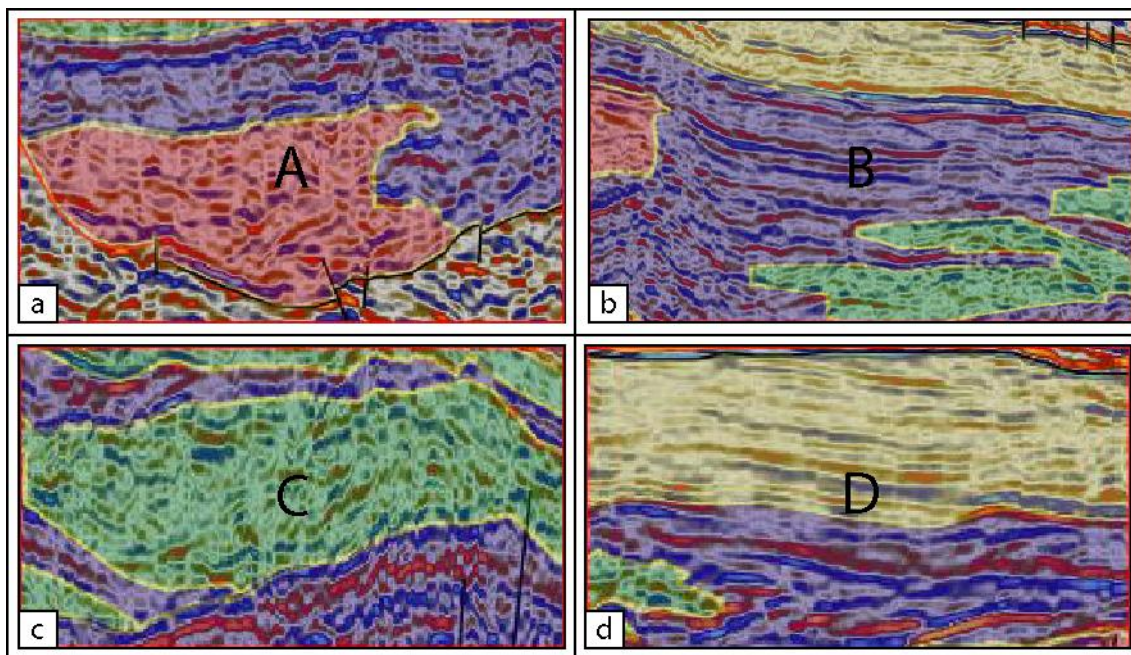


Figura 16. Tipos de sismofácies identificadas na LSD1. a) sismofácies A caracterizada por refletores caóticos de média a baixa amplitude; b) sismofácies B caracterizada por refletores contínuos e de elevada amplitude; c) sismofácies C caracterizada por refletores de média continuidade e média a baixa amplitude, e; d) sismofácies D caracterizada, principalmente, por refletores contínuos de baixa amplitude.

Posteriormente, foi elaborada a carta cronoestratigráfica (Figura 17) para a linha sísmica dip 1, através da integração das unidades sismoestratigráficas e sismofácies, relacionando os elementos temporais (unidades sismoestratigráficas) e deposicionais (sismofácies) em um gráfico de tempo geológico. Assim, a carta cronoestratigráfica (Figura 17) mostra uma expansão do meio-gráben da unidade 1 a unidade 2, tanto a W quanto a E, e uma posterior retração da unidade 2 para a unidade 3 a E, e uma expansão a W. Da unidade 4 a unidade 5 ocorre uma nova expansão do meio-gráben, tanto a W quanto a E, porém, menor quando comparada à expansão das unidades 1 a 2 (Figura 17). A partir da unidade 6 ocorreu uma nova retração da área do meio-gráben a E, seguida de uma posterior expansão do meio-gráben tanto a W quanto a E, marcando o final da atividade da falha de borda (Figura 17). Da unidade 8 a unidade 9 ocorre uma nova retração da área desse meio-gráben a E, seguida de uma nova expansão da unidade 10 a E, e de uma nova retração da unidade 11, tanto a W quanto a E (Figura 17).

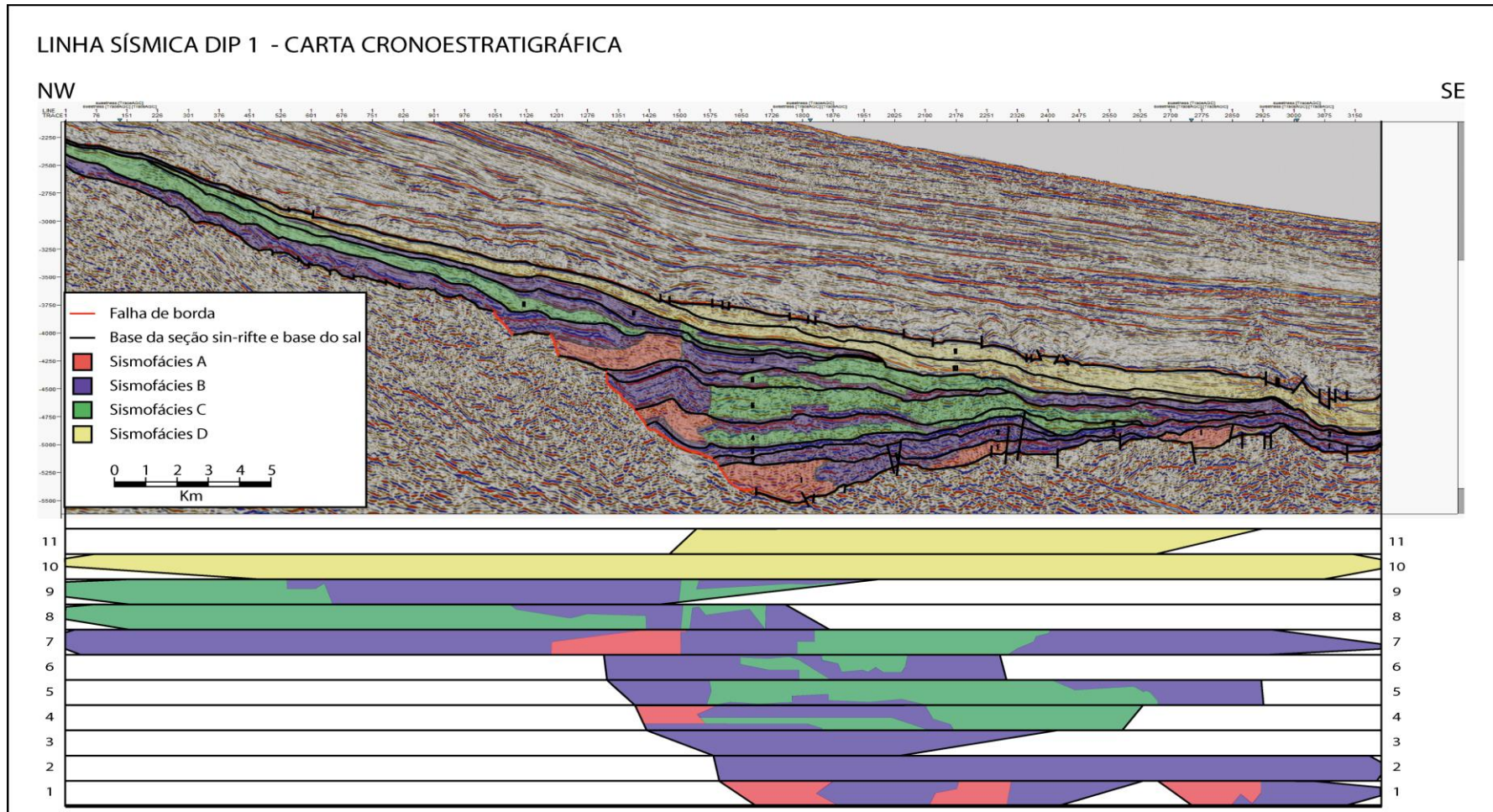


Figura 17. Seção sísmica LSD1, com a interpretação completa dos refletores, unidades sismoestratigráficas e sismofácies caracterizadas, e a carta cronoestratigráfica equivalente, apresentando a distribuição temporal das unidades espaciais e seus preenchimentos.

4.2. Linha Sísmica Dip 2

A Linha Sísmica dip 2, LSD2, encontra-se localizada na região sudoeste da bacia de Campos, a nordeste da linha sísmica dip 1, LSD1, e a sudoeste das linha dip 3, LSD3, e possui orientação NW-SE (Figura 8). A estrutura identificada possui forma de meio-gráben, apresentando uma margem flexural a leste, uma margem com o desenvolvimento de uma falha de borda a oeste, com caimento para leste, conforme apresentado na Figura 18, linha sísmica não-interpretada.

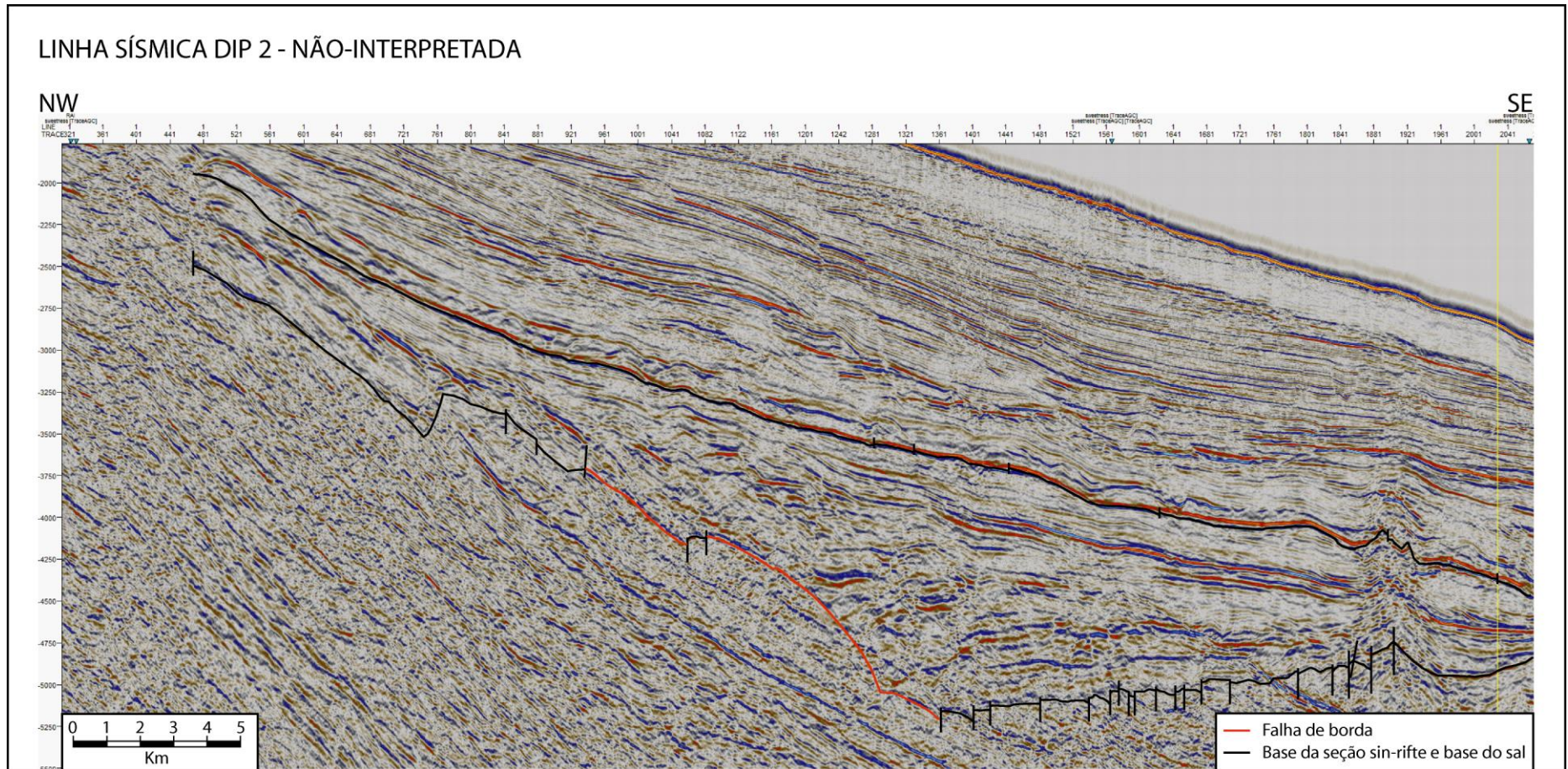


Figura 18. Meio-gráben identificado na LSD2, com borda de falha localizada a W e borda flexural a E. A base e o topo da seção sin-rifte são marcados pelos horizontes mapeados.

A análise inicial da LSD2 se deu a partir da interpretação dos seus refletores, conforme a Figura 19, que, na porção basal da estrutura, apresentam, junto à falha de borda, baixa continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20a), e encontram-se lateralmente relacionados a refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20b), e a refletores de média a alta continuidade e alta amplitude (Figura 19 e Figura 20c), predominantemente. Na região E da LSD2, ocorrem, lateralmente relacionados aos dois últimos refletores citados, da porção mais basal a porção mais superior, refletores inclinados, de média a baixa continuidade e de baixa a alta amplitude, que formam uma espécie de cone (Figura 19 e Figura 20d).

Na porção central dessa linha ocorre uma diminuição dos refletores caóticos, de baixa continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20a), em relação a porção mais basal dessa linha, ocorre também uma diminuição da quantidade de refletores contínuos de média a alta amplitude (Figura 19 e Figura 20c), e um aumento na ocorrência de refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20b).

Na porção superior da estrutura, ocorre novamente um incremento na quantidade de refletores caóticos, de baixa continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20a), depositados junto à falha de borda, que ocorrem lateralmente relacionados a uma quantidade equivalente de refletores contínuos de média a alta amplitude (Figura 19 e Figura 20c), e de refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20b).

Quando muda a atividade tectônica, ocorre o extravasamento da deposição para fora da estrutura, e isso ocorre devido à parada ou diminuição da atividade da falha de borda, o que acarreta na diminuição até a inexistência da deposição dos refletores caóticos (Figura 19 e Figura 20a) relacionados à falha de borda (Figura 18 e Figura 19), ocorrendo principalmente a deposição dos refletores média a alta continuidade e alta amplitude (Figura 19 e Figura 20c), dos refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20b), e dos refletores de média a alta continuidade e média a baixa amplitude (Figura 19 e Figura 20e) em quantidades equivalentes. No topo da área de estudo ocorre um intervalo com pelo menos três tipos de refletores, porém, essa região não será analisada (Figura 20f e Figura 21), pois ela se encontra em uma fase sag – pós-rifte, fora do intervalo de estudo da presente monografia.

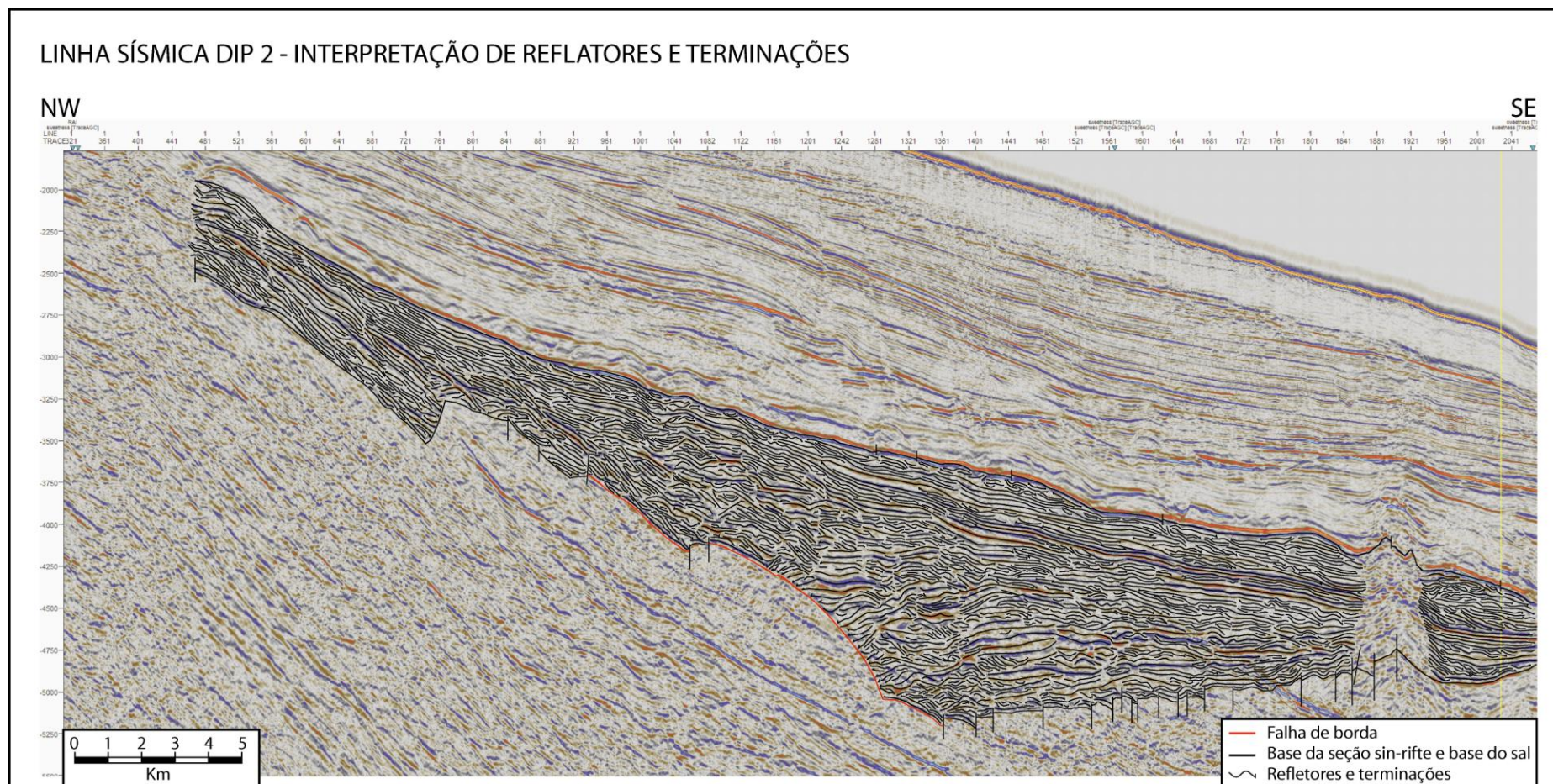


Figura 19. Interpretação completa dos refletores realizada a partir da interpretação da LSD2, com a seção sísmica ao fundo com 50% de transparência para melhor visualização da interpretação individual dos refletores e suas terminações.

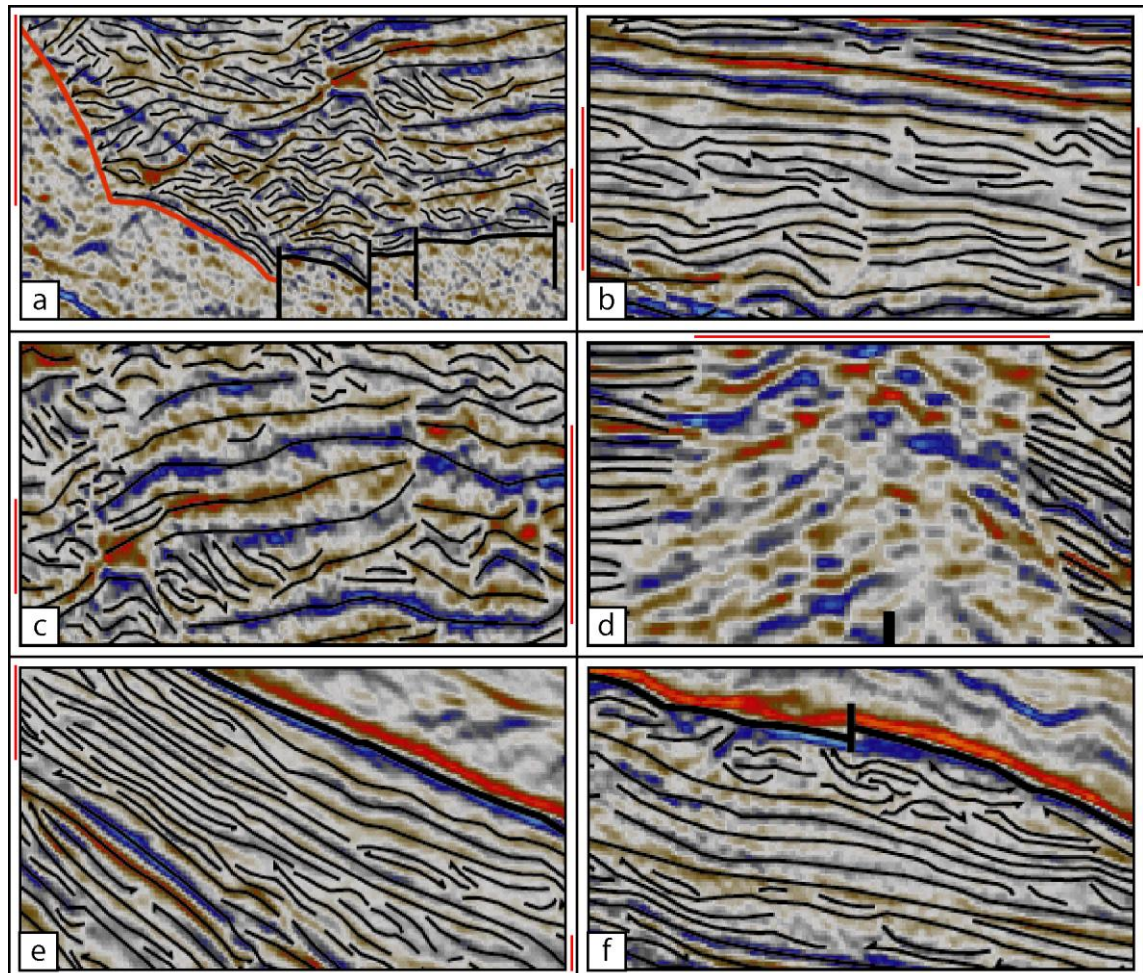


Figura 20. Exemplos de refletos identificados na LSD2; a) refletos caóticos, de baixa continuidade e média a baixa amplitude; b) refletos de média continuidade e média a baixa amplitude; c) refletos contínuos, de média a alta continuidade e alta amplitude; d) refletos inclinados, de média a baixa continuidade e alta a baixa amplitude; e) refletos de média a alta continuidade e baixa amplitude, e; f) exemplo de refletos encontrados na região não analisada.

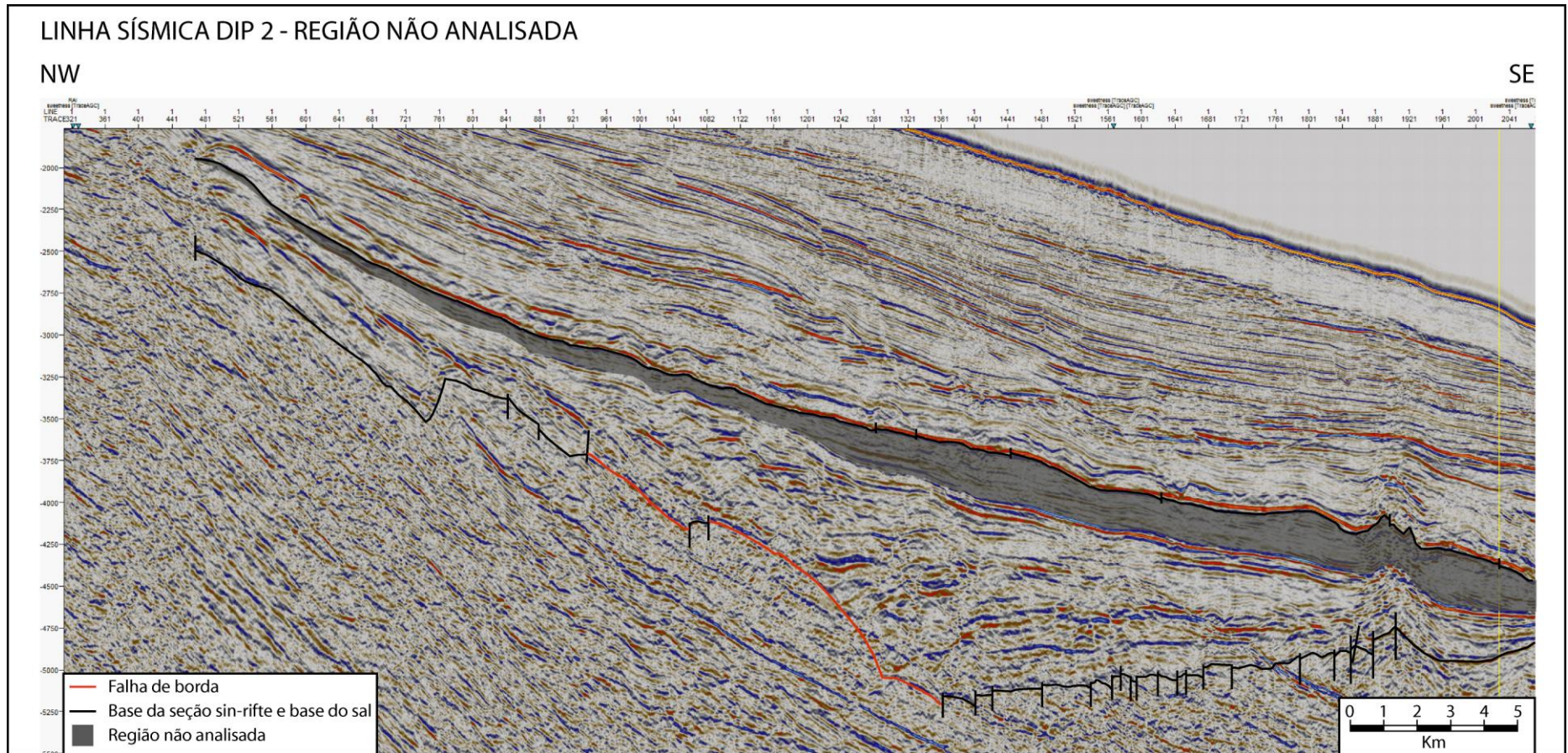


Figura 21. Seção não analisada da LSD2– fase sag, pós-rifte.

As terminações identificadas na porção inferior W do meio-gráben, junto à falha de borda na LSD2, são terminações geradas por atividade tectônica e não por deposição sedimentar e, portanto, não serão abordadas como terminações deposicionais (Figura 22a). Nessa mesma porção inferior foram observados truncamentos erosivos (Figura 22b) e poucas terminações em downlap (Figura 22c). Na região central do meio-gráben, junto à falha de borda também ocorrem terminações geradas por atividade tectônica (Figura 22d), poucos truncamentos erosivos (Figura 22e), terminações em downlap aleatórias ou terminando contra a mesma superfície (Figura 22f), e a ocorrência de algumas terminações em onlap (Figura 22g). Na região superior W da estrutura ocorrem as mesmas terminações geradas por atividade tectônica (Figura 22h), poucos truncamentos erosivos, a W, e um aumento na sua quantidade a E (Figura 23a), poucas terminações em downlap a W (Figura 23b) e um incremento nas suas quantidades a E (c), e uma quantidade um pouco maior de terminações em onlap a W (Figura 23d) e sua diminuição a E, em direção a margem flexural (Figura 23e). E, por fim, são observadas as terminações identificadas na seção que não será analisada, que ocorrem fora da seção rifte da Bacia de Campos, onde ocorrem diversos truncamentos erosivos (Figura 23f), diversas terminações em downlap (Figura 23g) e diversas terminações em onlap, tanto a W quanto a E da LSD2 (Figura 23h).

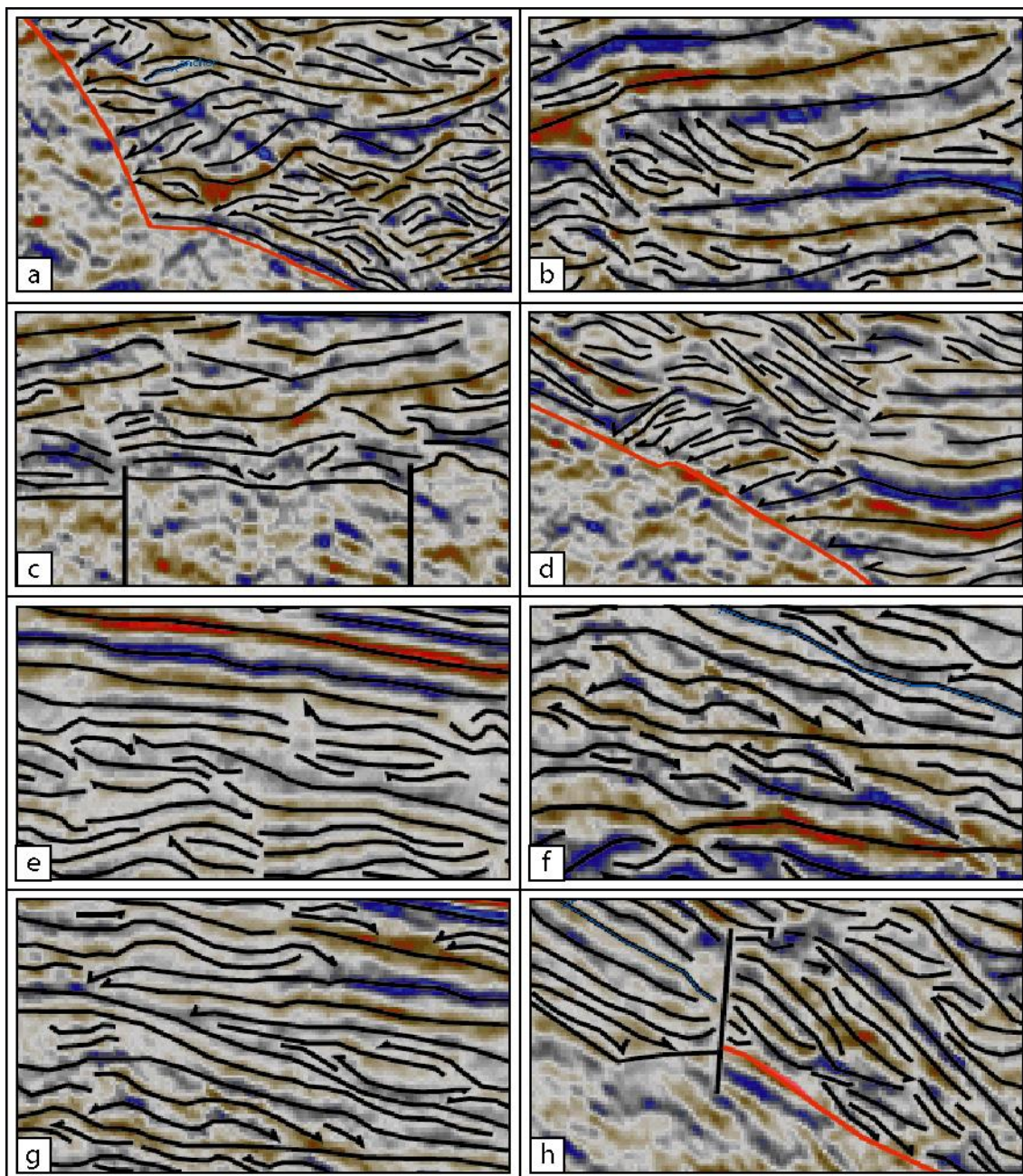


Figura 22. Exemplos de terminações de refletores; a) terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, porção basal W da LSD2; b) truncamentos erosivos aleatórios ou terminando contra a mesma superfície que ocorrem na porção basal da LSD2; c) terminações em downlap em direção à margem flexural, E da porção basal da LSD2; d) terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, porção central W da LSD2; e) escassos truncamentos erosivos que ocorrem na região central da LSD2; f) diversas terminações em downlap contra a mesma superfície, região central da LSD2; g) terminações em onlap que ocorrem na porção central da LSD2, em direção a margem de falha, e; h) truncamentos erosivos que ocorrem na porção superior E da LSD2.

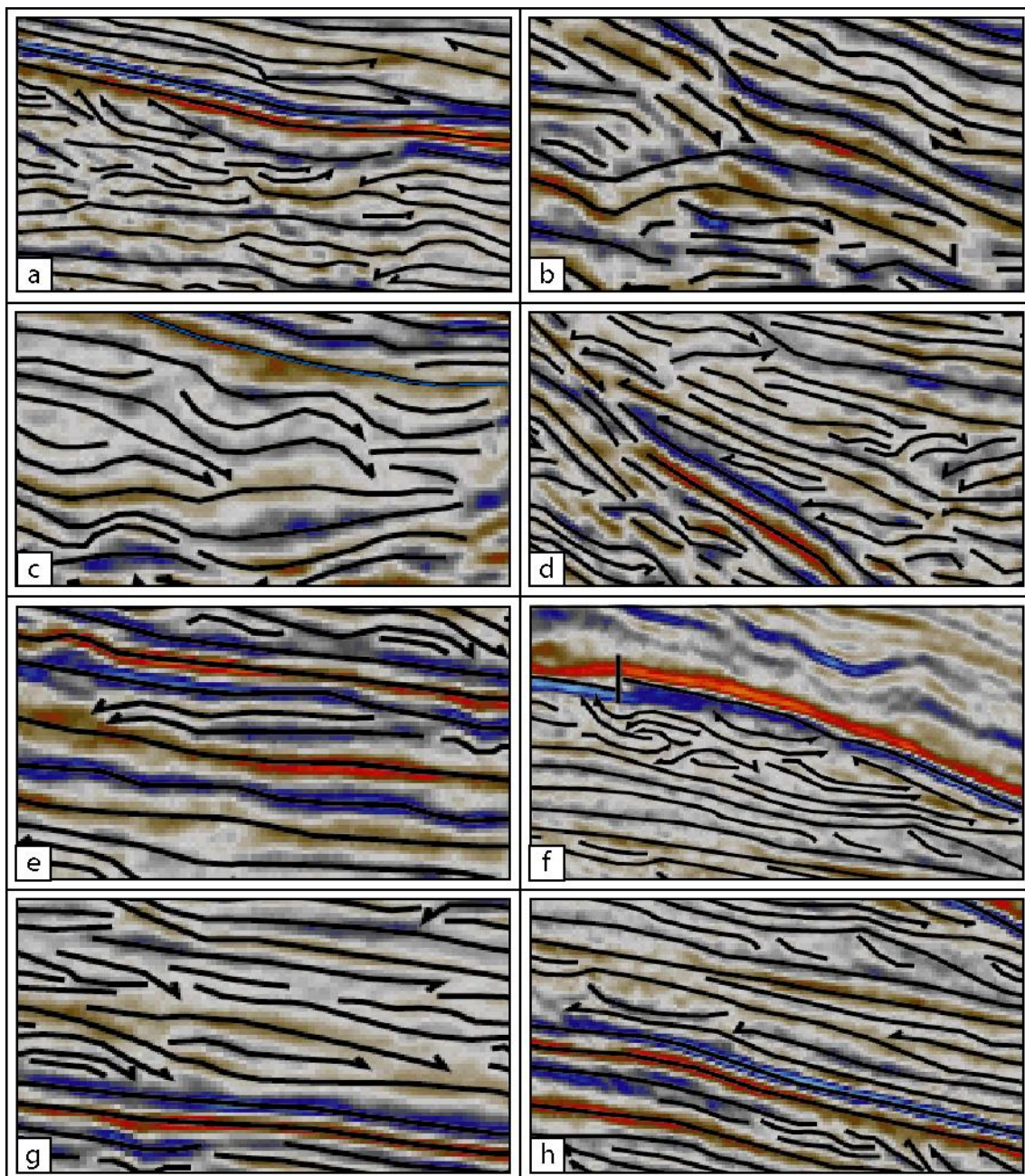


Figura 23. Exemplos de terminações de refletores; a) truncamentos erosivos localizados na porção superior da LSD2; b) poucas terminações em downlap localizadas na porção superior W da estrutura; c) aumento na quantidade de terminações em downlap em direção à margem flexural, E da porção superior da LSD2; d) diversas terminações em onlap que ocorrem na porção superior W da LSD2; e) diminuição na quantidade de terminações em onlap em direção a margem flexural, porção superior E da LSD2; f) grande quantidade de truncamento erosivos que ocorrem na fase sag da bacia, porção superior da LSD2; g) grande quantidade de terminações em downlap que ocorrem na fase sag da bacia, porção superior da LSD2, e; h) terminações em onlap que ocorrem na fase sag da bacia, porção superior da LSD2.

Nessa região do meio-gráben analisado foram identificadas 11 unidades sismoestratigráficas a partir das sucessivas terminações de refletores, numeradas da base para o topo, conforme a Figura 24. A unidade 1 ocorre da falha de borda a W, se estendendo para além da área de estudo a E, e tem a sua deposição afetada

pelos falhamentos desenvolvidos na base da estrutura (Figura 24). A unidade 2 ocorre na região W e na região E do meio-gráben na LSD2, em locais deposicionais distintos (Figura 24). Na região W da LSD2, tem sua ocorrência relacionada a uma grande falha desenvolvida na base do meio-gráben, e no extremo W, se estabelece para além da área de estudo (Figura 24), e, na região E da LSD2, essa unidade se estabelece da falha de borda, e propaga-se para além da área de estudo a E (Figura 24). Assim como a unidade 2, a unidade 3 ocorre na região W e na região E do meio-gráben (Figura 24). Na região W da área de estudo, essa unidade ocorre a partir da falha de borda e se propaga para além da área de estudo no extremo W (Figura 24), e, na região E, inicia sua deposição junto à falha de borda, e termina contra a unidade 2 a E, mais ou menos na porção mediana do topo dessa unidade (Figura 24). A unidade 4 inicia a W a partir da porção da unidade 3 que ocorre na região W da LSD2 (Figura 24) e termina contra a mesma unidade 3, porém, na porção que ocorre na região E da LSD2 (Figura 24). A unidade 5 inicia a W contra a unidade 4 através de sucessivas terminações em onlap, e se propaga para além da área de estudo a E (Figura 24). A unidade 6 se propaga para além da área de estudo a W e termina a E contra a porção mediana do topo da unidade 5 (Figura 24). A unidade 7 termina contra a unidade 6, a W, através de sucessivas terminações em onlap e se desenvolve para além da área de estudo a E (Figura 24). A unidade 8 termina contra a unidade 6 a W, através de terminações em onlap e contra a unidade 7 a E, através de sucessivas terminações em downlap (Figura 24). A unidade 9, a W, termina contra a unidade 6 através de sucessivas terminações em onlap e, a E, se estabelece para além da área de estudo (Figura 24). A unidade 10, a W, se estabelece para além da área de estudo e, a E, termina contra a unidade 9, a partir de sucessivas terminações em downlap (Figura 24). E, por fim, a unidade 11, que a W termina contra a unidade 10 a W e, a E, se estende para além da área de estudo (Figura 24).

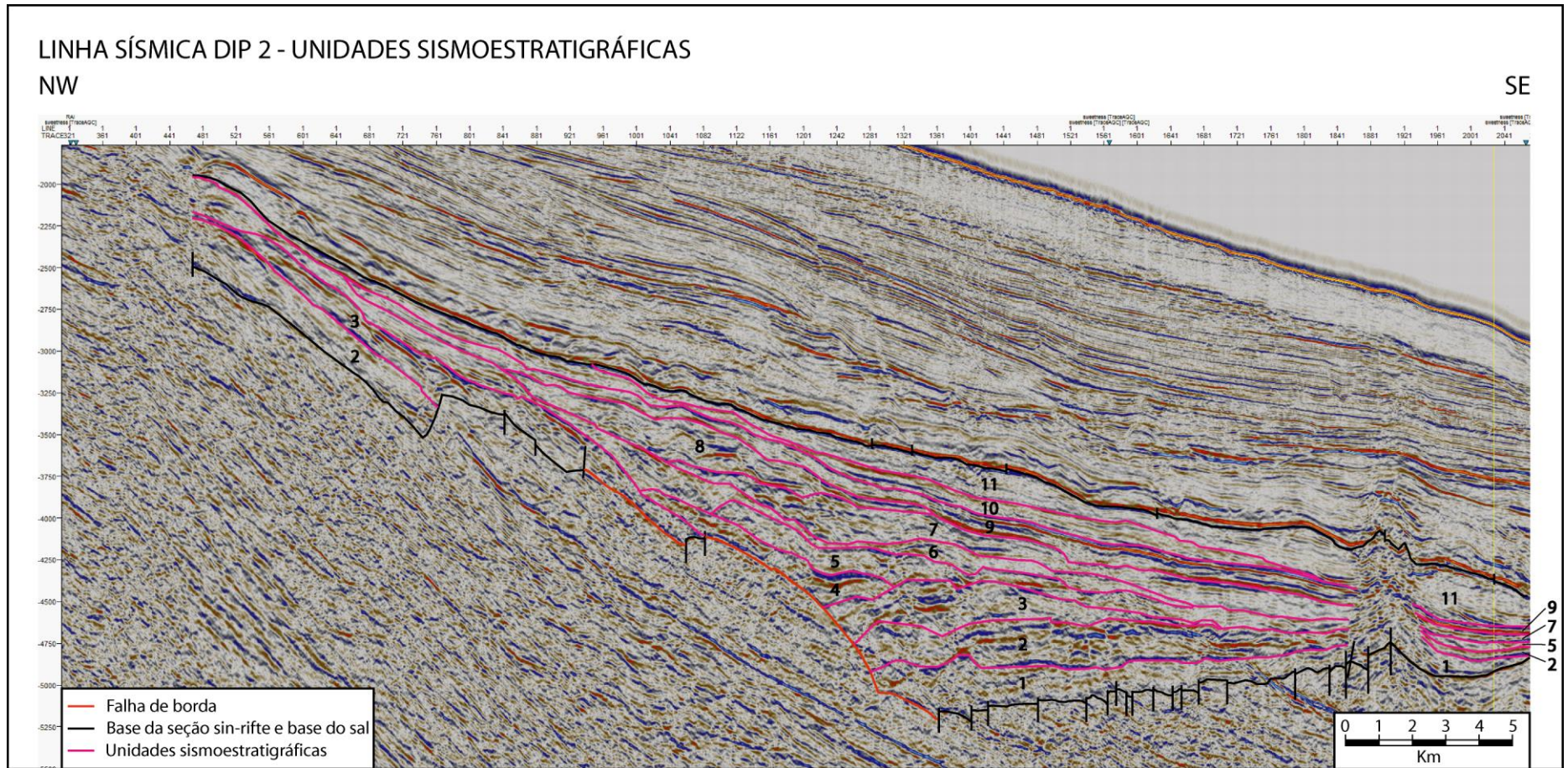


Figura 24. Unidades Sismoestratigráficas identificadas na LSD2, delimitadas pelas superfícies mapeadas (horizontes rosa).

Na LSD2 foram identificadas e caracterizadas todas as cinco sismofácies que ocorrem na área de estudo. Estas sismofácies foram denominadas de A, B, C, D e E (Figura 25 e Figura 26). A sismofácies A possui refletores caóticos de média a baixa amplitude que ocorrem na unidade 1, 2, 3, 4, 5 e 6, associados, principalmente, a falha de borda, porém, ocorrem também, em menor quantidade, associados a falhas que afetam a base do meio-gráben (Figura 25 e Figura 26a). A sismofácies B possui refletores de média a alta continuidade e alta amplitude que ocorrem desde a unidade 1 até a unidade 9, tendo a sua deposição mais expressiva na unidade 2, 3, 4 e 9, e menos expressiva nas unidades 6 e 8 (Figura 25 e Figura 26b). A sismofácies C possui refletores de média continuidade e média a baixa amplitude e refletores de média a alta continuidade e baixa amplitude, se estabelece da unidade 1 a 3, não ocorre na unidade 4, ocorrendo novamente das unidades 5 a 9, possuindo deposição mais significativa na unidade 1, 7 e 8, e menos expressiva na unidade 2 e 5 (Figura 25 e Figura 26c). A sismofácies D compreende refletores de baixa amplitude, contínuos, com localizadas ocorrências de refletores de alta amplitude, contudo, esta sismofácies não será discutida, pois se encontra no intervalo não analisado (Figura 12, Figura 25 e Figura 26). E, por fim, a sismofácies E, que compreende refletores inclinados, de média a baixa continuidade e de baixa a alta amplitude que formam uma espécie de cone, e tem sua ocorrência restrita a região W da LSD2, ocorrendo nas unidades 1, 2, 5, 7, 9 e 11 (Figura 25 e Figura 26).

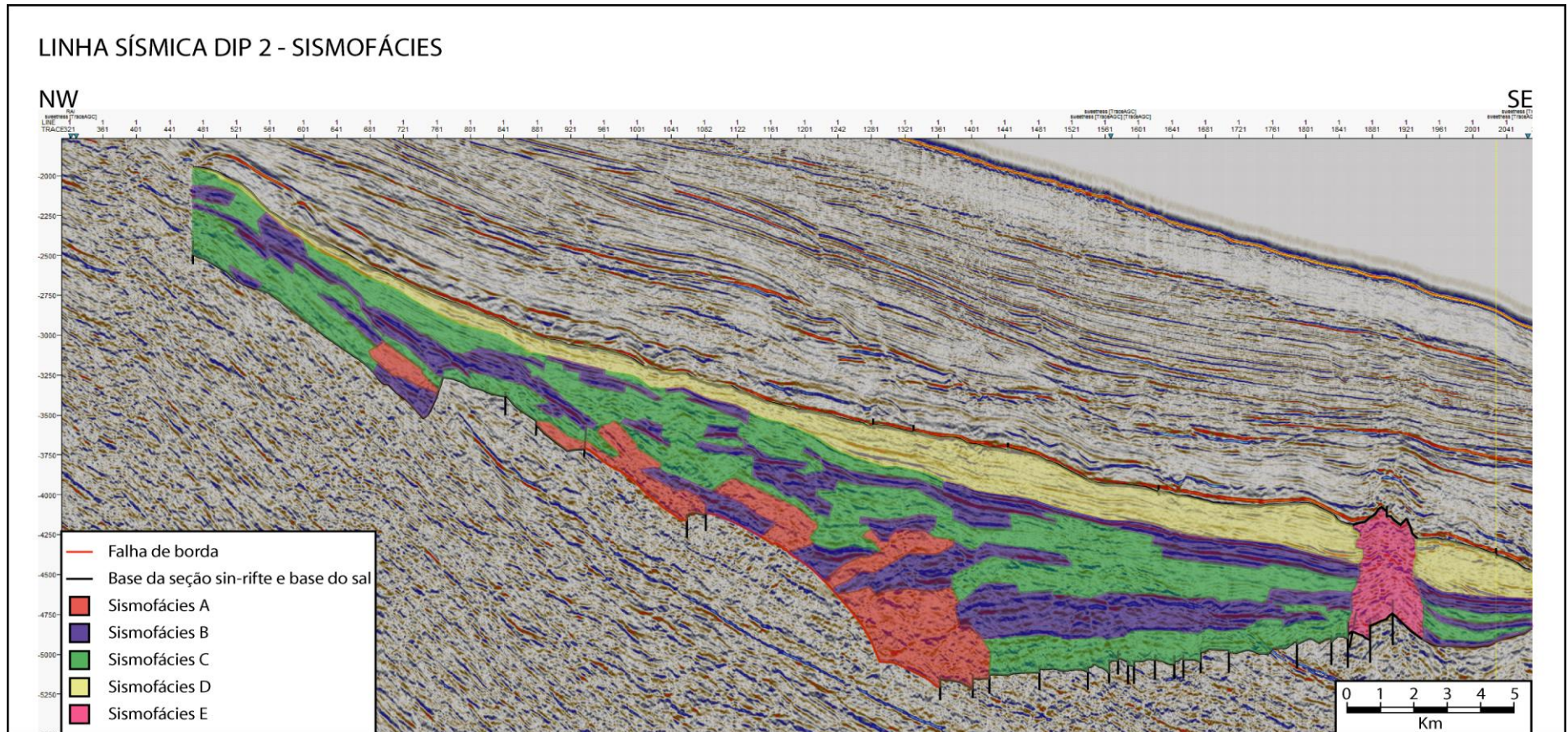


Figura 25. Sismofácies identificadas na LSD2. Sismofácies A ocorrendo junto à falha de borda ou junto a falhas desenvolvidas localizadas na base do meio-gráben e lateralmente relacionada às sismofácies B e C; sismofácies B amplamente distribuída, da base ao topo da seção analisada e da margem falhada a margem flexural do meio-gráben, e lateralmente relacionada a sismofácies A, C e E; sismofácies C amplamente distribuída, da base ao topo da seção analisada e da margem falhada a margem flexural do meio-gráben, e lateralmente relacionada a sismofácies A, B e E; sismofácies D com ocorrência limitada ao topo da área de estudo, na fase sag da bacia, ocorrendo de E a W, e; sismofácies E localizada na região E da LSD2, da base ao topo da seção analisada e da base ao topo da fase sag da bacia, e lateralmente associada a sismofácies A, B, C e D.

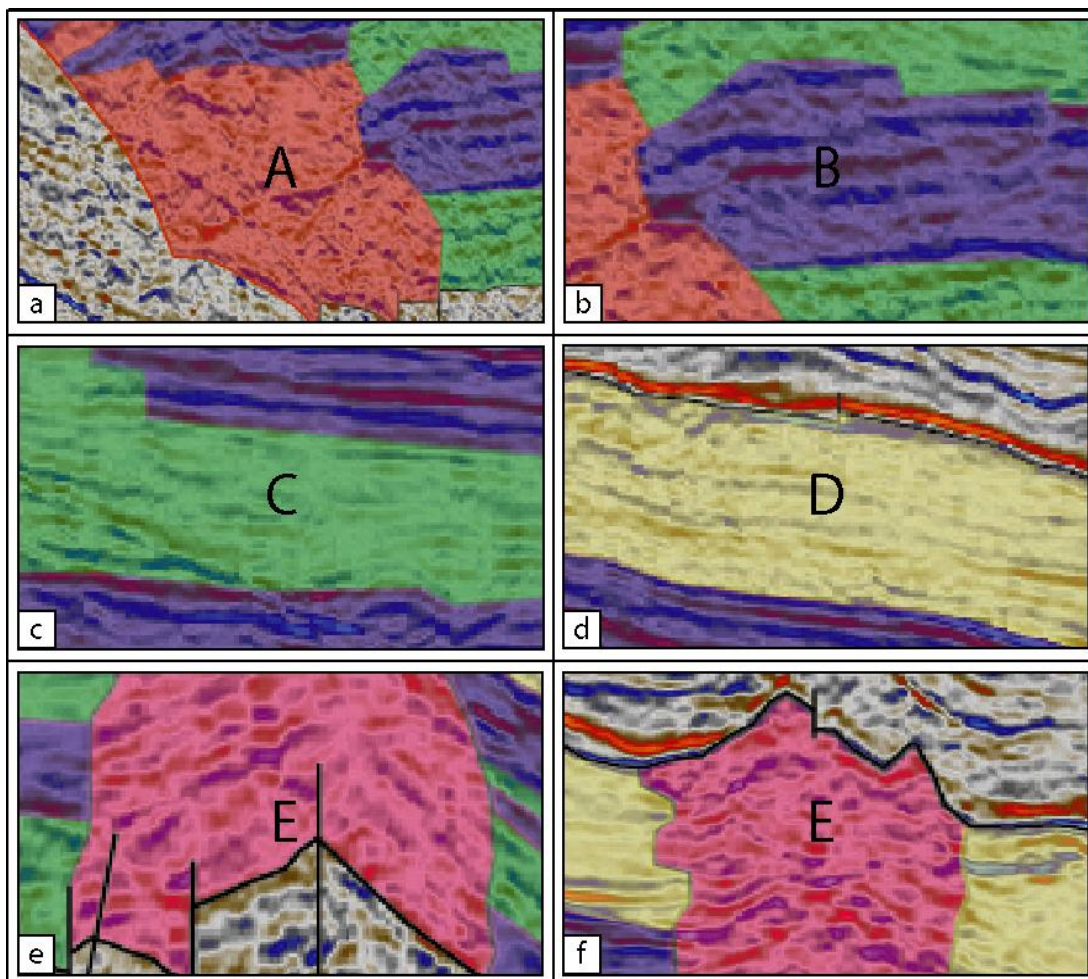


Figura 26. Tipos de sismofácies identificadas na LSD2. a) sismofácies A caracterizada por refletores caóticos de média a baixa amplitude; b) sismofácies B É caracterizada por refletores contínuos e de elevada amplitude; c) sismofácies C caracterizada por refletores de média continuidade e média a baixa amplitude; d) sismofácies D caracterizada, principalmente, por refletores contínuos de baixa amplitude; e) sismofácies E caracterizada por refletores inclinados, de média a baixa continuidade e de baixa a alta amplitude (base da LSD3), e; f) sismofácies E caracterizada por refletores inclinados, de média a baixa continuidade e de baixa a alta amplitude (topo da LSD3).

Posteriormente, foi desenvolvida a carta cronoestratigráfica para a linha sísmica dip 2, através da integração das unidades sismoestratigráficas e sismofácies, relacionando os elementos temporais (unidades sismoestratigráficas) e deposicionais (sismofácies) em um gráfico de tempo geológico, que é apresentada na Figura 27. Assim, essa carta cronoestratigráfica (Figura 27) mostra uma expansão do meio-gráben da unidade 1 a unidade 2 a W, e uma posterior retração da unidade 2 para a unidade 3 a E (Figura 27). Da unidade 3 para a 4 ocorre uma nova retração do meio-gráben, tanto a W quanto a E, episódio que representa a maior retração observada na LSD2 (Figura 27). A partir da unidade 5 é observado um incremento na retração a W e uma nova expansão da área de a E (Figura 27). O oposto se estabelece a partir da unidade 6, onde ocorre uma grande expansão a

W e uma grande retração da área de estudo a E (Figura 27). Da unidade 7 a unidade 10 ocorre uma progressiva expansão a W, com o extravasamento da deposição para além da área de estudo (Figura 27). O mesmo acontece com a unidade 7 a E, porém, a partir da unidade 8, nessa mesma região W, ocorre uma retração da área de estudo seguida de nova expansão representada pela unidade 9, e de uma nova retração representada pela unidade 10 (Figura 27). E, por fim, a unidade 11 marca o fim da deposição na área de estudo com nova expansão a W e nova retração a E (Figura 27).

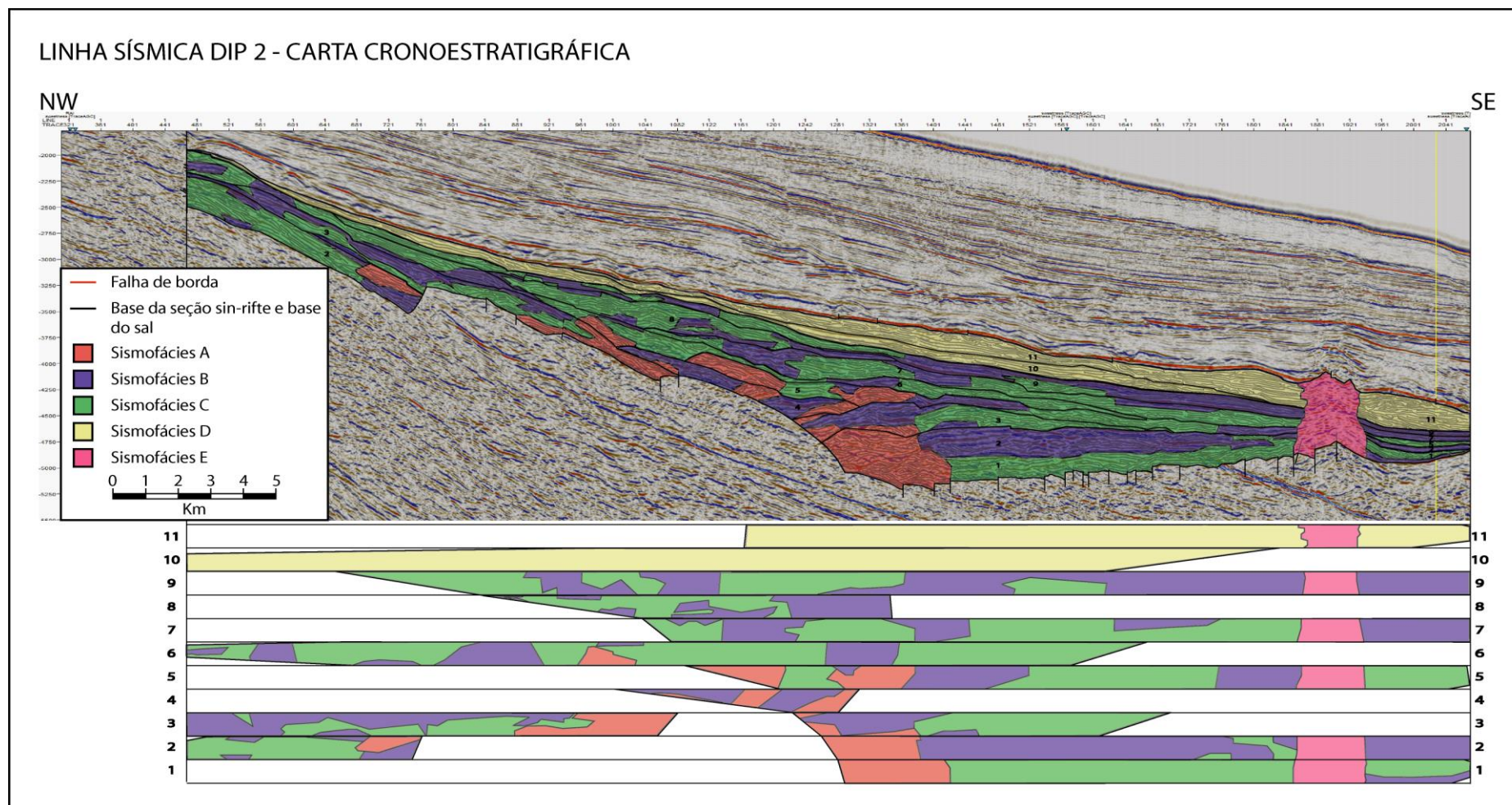


Figura 27. Seção sísmica LSD2, com a interpretação completa dos refletores, unidades sismoestratigráficas e sismofácies caracterizadas, e a carta cronoestratigráfica equivalente, apresentando a distribuição temporal das unidades espaciais e seus preenchimentos.

4.3. Linha Sísmica Dip 3

A Linha Sísmica dip 3, LSD3, encontra-se localizada na região sudoeste da bacia de Campos, a nordeste das linhas sísmicas dip 1 e 2, e possui orientação NW-SE (Figura 8). A estrutura identificada possui forma de meio-gráben, apresentando uma margem flexural a leste, uma margem com o desenvolvimento de uma falha de borda a oeste, com caimento para leste, conforme apresentado na (Figura 28), linha sísmica não-interpretada.

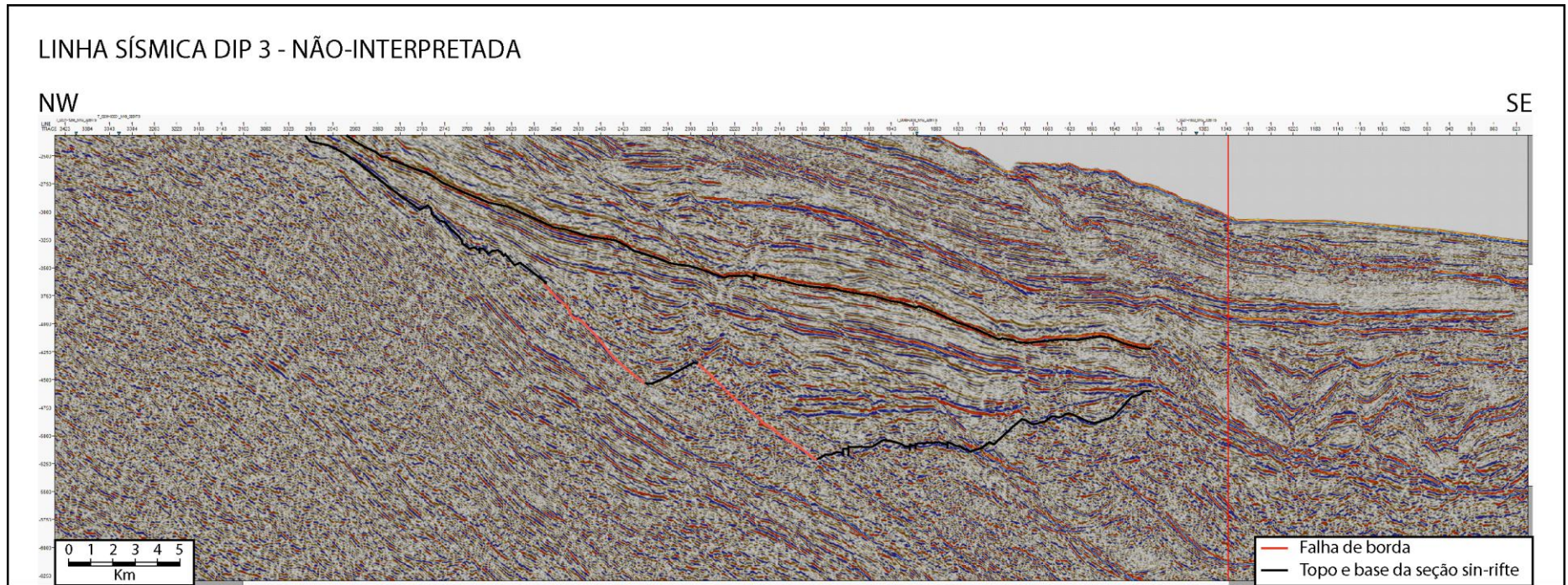


Figura 28. Meio-gráben identificado na LSD3, com borda de falha localizada a W e borda flexural a E. A base e o topo da seção sin-rifte são marcados pelos horizontes mapeados.

A análise inicial da LSD3 se deu a partir da interpretação dos seus refletores, conforme a Figura 29, que, na porção basal da estrutura, apresentam, junto à falha de borda, baixa continuidade e média a baixa amplitude (Figura 29 e Figura 30a). Estes refletores encontram-se lateralmente relacionados a uma quantidade pequena de refletores de contínuos de alta amplitude (Figura 29 e Figura 30b), e a uma quantidade significativa de refletores de média continuidade e média a baixa amplitude, que são os mais abundantes nessa porção da LSD3 (Figura 29 e Figura 30c).

Na porção central dessa estrutura ocorre um aumento dos refletores caóticos, de baixa continuidade e média a baixa amplitude em relação à porção mais basal dessa linha (Figura 29 e Figura 30a). Além disso, ocorre também um aumento da quantidade de refletores contínuos de alta amplitude (Figura 29 e Figura 30b), e uma diminuição na ocorrência de refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 29 e Figura 30c).

Na porção superior da estrutura, ocorre uma grande quantidade de refletores caóticos, de baixa continuidade e média a baixa amplitude depositada junto à falha de borda, porém, essa quantidade é menos representativa quando comparada com a quantidade existente na porção central da estrutura (Figura 29 e Figura 30a). Lateralmente associados ocorrem refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 29 e Figura 30d), que também ocorrem em quantidade representativa, e refletores contínuos de média a alta amplitude em menor quantidade (Figura 29 e Figura 30b).

Quando muda a atividade tectônica, ocorre o extravasamento da deposição para fora da estrutura, e isso ocorre devido à parada ou diminuição da atividade da falha de borda, o que acarreta na diminuição até a inexistência da deposição dos refletores caóticos relacionados à falha de borda (Figura 29), ocorrendo principalmente a deposição dos refletores média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 29 e Figura 30c) e de refletores contínuos de baixa amplitude (Figura 29 e Figura 30d). Refletores contínuos de alta amplitude estão presentes em menor quantidade (Figura 29 e Figura 30b). No topo da área de estudo ocorre um intervalo com pelo menos três tipos de refletores, porém, essa região não será analisada (Figura 31), pois ela se encontra em uma fase sag – pós-rifte, fora do intervalo de estudo da presente monografia.

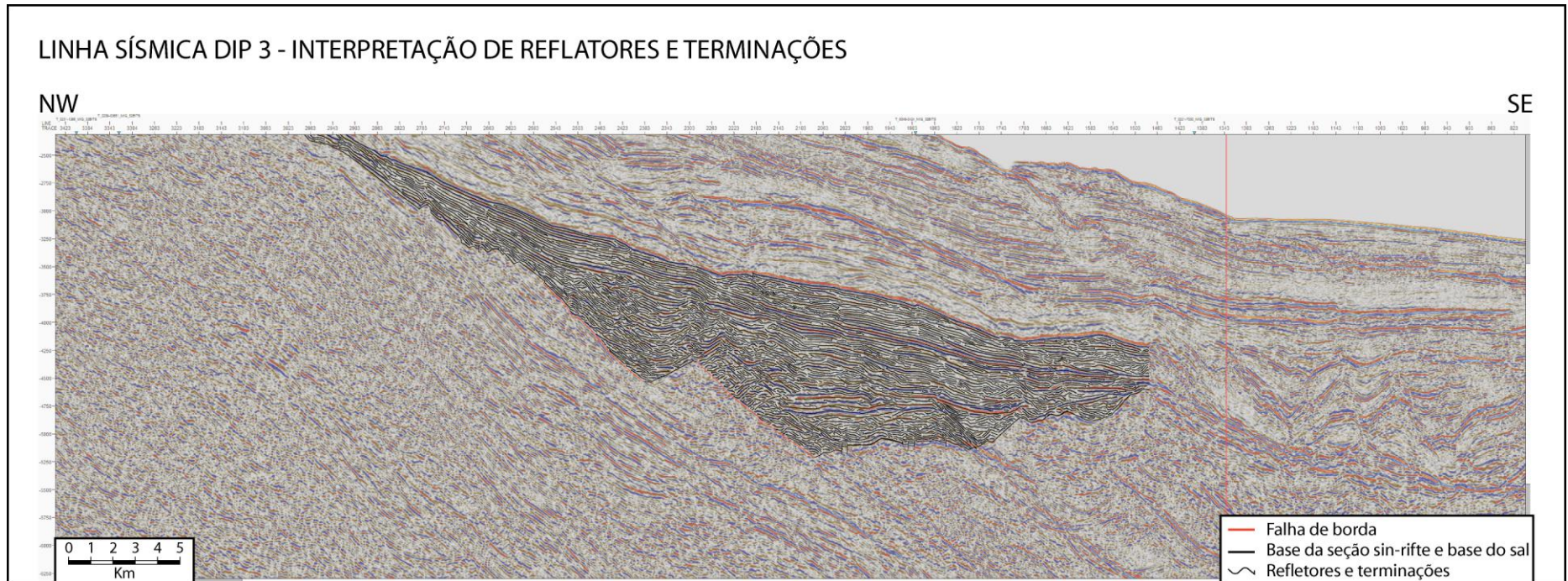


Figura 29. Interpretação completa dos refletores realizada a partir da interpretação da LSD3, com a seção sísmica no fundo e sem sobreposição com a seção sísmica, para melhor visualização da interpretação individual dos refletores e suas terminações.

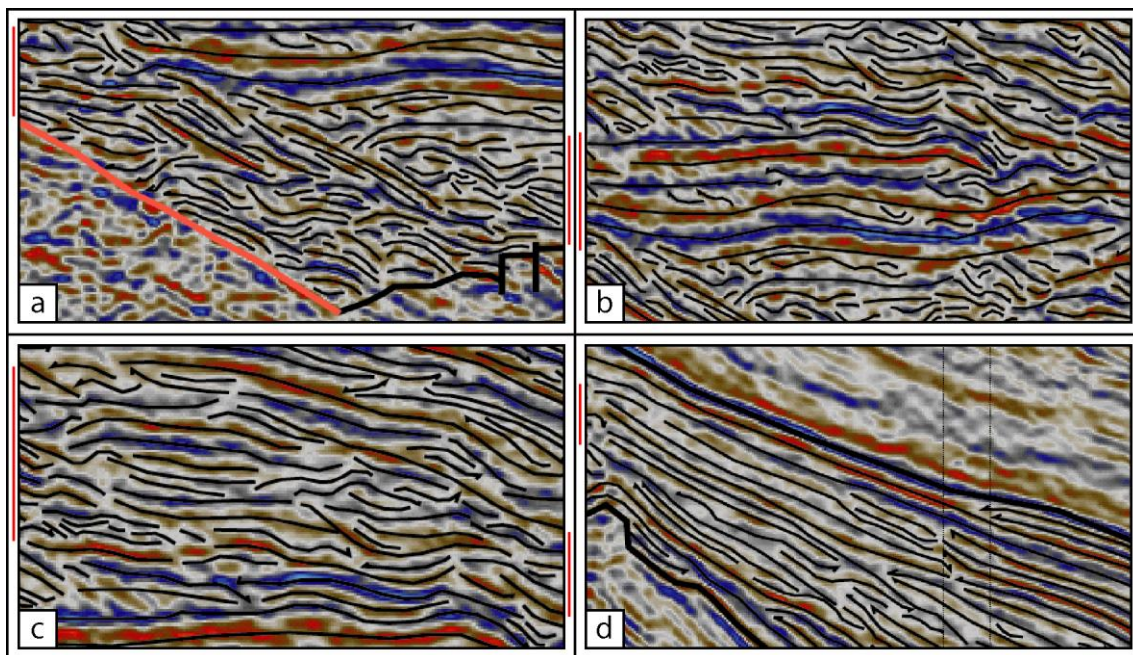


Figura 30. Exemplos de refletores identificados; a) refletores de baixa continuidade e média a baixa amplitude; b) refletores contínuos e de alta amplitude; c) refletores de média continuidade e média a baixa amplitude; e d) refletores de alta continuidade e baixa amplitude.

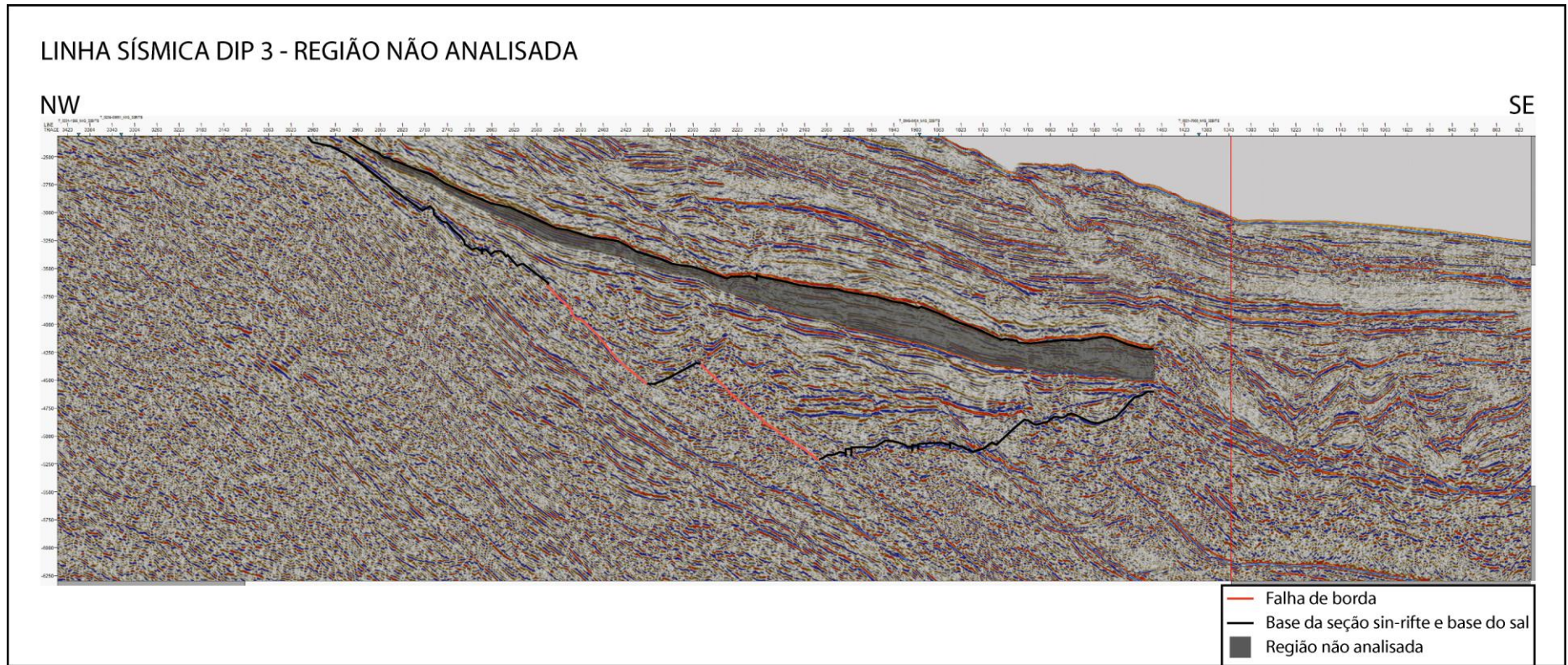


Figura 31. Seção não analisada – fase sag, pós-rifte, em cinza.

As terminações identificadas na porção inferior W do meio-gráben, junto à falha de borda na LSD3, são terminações geradas por atividade tectônica e não por deposição sedimentar e, portanto, não serão abordadas como terminações deposicionais (Figura 32a). Nessa mesma porção inferior foram observados vários truncamentos erosivos (Figura 32b) e poucas terminações em downlap (Figura 32c). Na região central W do meio-gráben, junto à falha de borda também ocorrem terminações geradas por atividade tectônica (Figura 32d), poucos truncamentos erosivos e poucas terminações em downlap aleatórios (Figura 32e). Além dessas terminações, na região E dessa porção central, foi observada a ocorrência de poucas terminações em onlap (Figura 32f). Na região superior W da estrutura ocorrem as mesmas terminações geradas por atividade tectônica, poucos truncamentos erosivos (Figura 32g), poucas terminações em onlap (Figura 32h), e uma quantidade um pouco maior de terminações em downlap (Figura 32i). Fora da estrutura de meio-gráben ocorrem diversos truncamentos erosivos, diversas terminações em onlap e downlap, tanto a W quanto a E da LSD3 (Figura 32j).

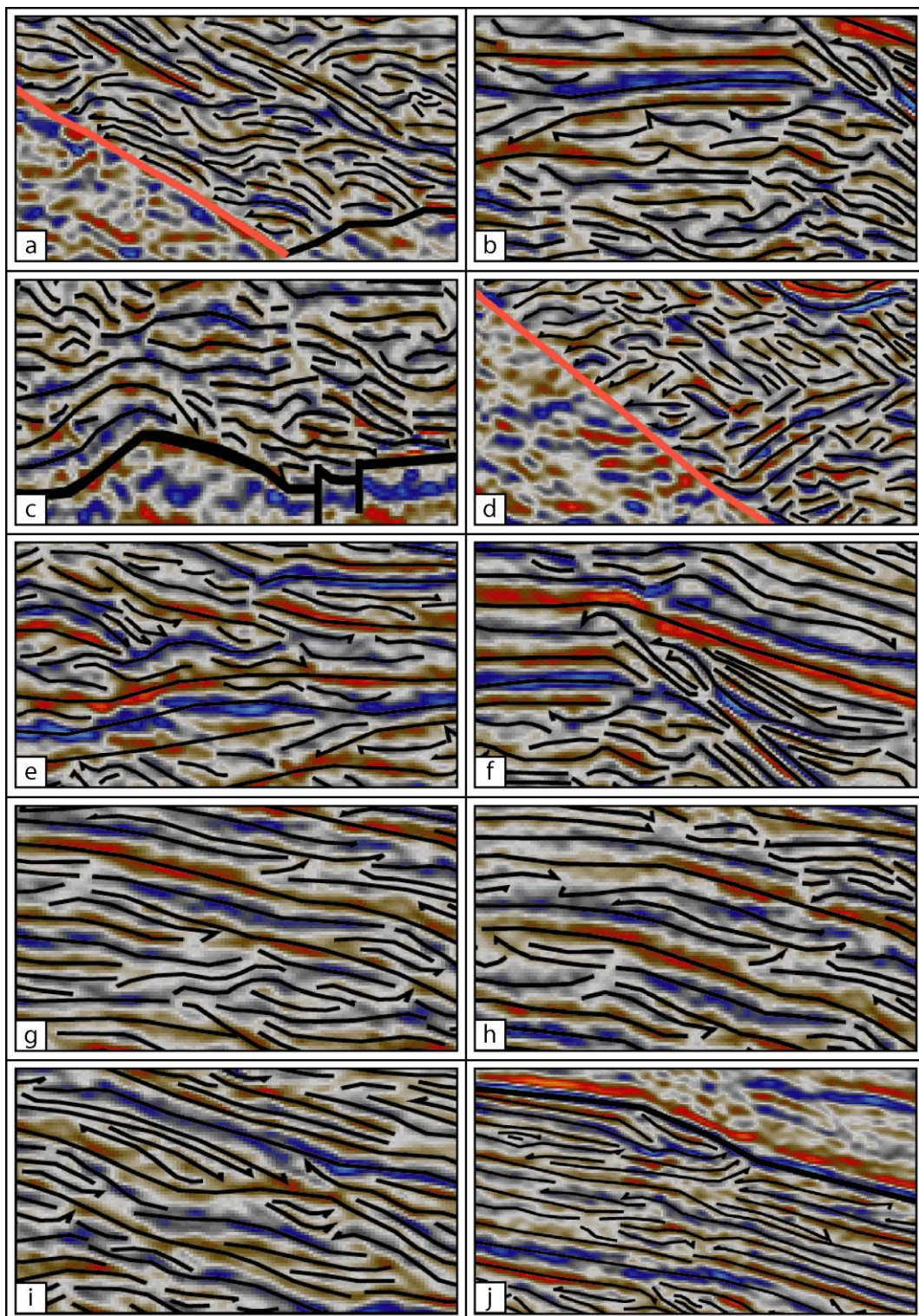


Figura 32. Exemplos de terminações de refletores; a) terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, W da LSD3; b) truncamentos erosivos que ocorrem na porção basal da LSD3; c) terminações em downlap em direção à margem flexural, porção basal da LSD3; d) terminações geradas por atividade tectônica, junto à falha de borda, W da LSD3, porção central; e) truncamentos erosivos e terminações em downlap que ocorrem na região central da LSD3; f) terminações em onlap que ocorrem na região central estrutura; g) poucos truncamentos erosivos que ocorrem na porção superior da estrutura; h) poucas terminações em onlap que ocorrem na região superior da estrutura; i) terminações em downlap que ocorrem na região superior da estrutura, e; j) diversos truncamentos erosivos, terminações em onlap e downlap que ocorrem na região superior da LSD3.

Nessa região do meio-gráben analisado foram identificadas 12 unidades sismoestratigráficas a partir das sucessivas terminações de refletores, numeradas da base para o topo (Figura 33). A unidade 1 se estabelece da falha de borda a W (Figura 33), e se propaga em direção a margem flexural, terminando contra o limite inferior próximo a porção mediana desse limite (Figura 33) e, tem a sua deposição afetada pelas falhas que se propagam da base do meio-gráben. A unidade 2 também se estabelece da falha de borda, e se propaga em direção à margem flexural, terminando contra o limite inferior do meio-gráben e recobrando os refletores que dão origem a unidade sismoestratigráfica 1 (Figura 33). A unidade 3 se estabelece a partir da falha de borda, a W, e se propaga para E, em direção à margem flexural, terminando contra o limite superior da unidade 2 (Figura 33). A unidade 4 se estabelece da falha de borda (Figura 33), e propaga-se para além da área de estudo a E (Figura 33). A unidade 5 se estabelece a partir da falha de borda e se propaga em direção a margem flexural, terminando contra o limite superior da unidade 4 (Figura 33). A unidade 6, a E, termina contra o limite superior da unidade 5 (Figura 33) e, a W, se propaga para além da área de estudo (Figura 33). A unidade 7, ao contrário da unidade 6, a E se propaga para além da área de estudo (Figura 33) e, a W, termina contra o limite superior da unidade 6. A unidade 8, a E, termina contra o limite superior da unidade 7 (Figura 33) e, a W, termina contra o limite superior da unidade 6 (Figura 33). O mesmo acontece com a unidade 9, que a E termina contra o limite superior da unidade 7 (Figura 33) e, a W, termina contra o limite superior da unidade 6, recobrando totalmente a unidade 8 (Figura 33). A unidade 10, tanto a E quanto a W, se propaga para além da área de estudo (Figura 33). E, por fim, as unidades 11 e 12, que a E se propagam para além da área de estudo (Figura 33) e, a W, terminam contra o limite superior da unidade 10 (Figura 33).

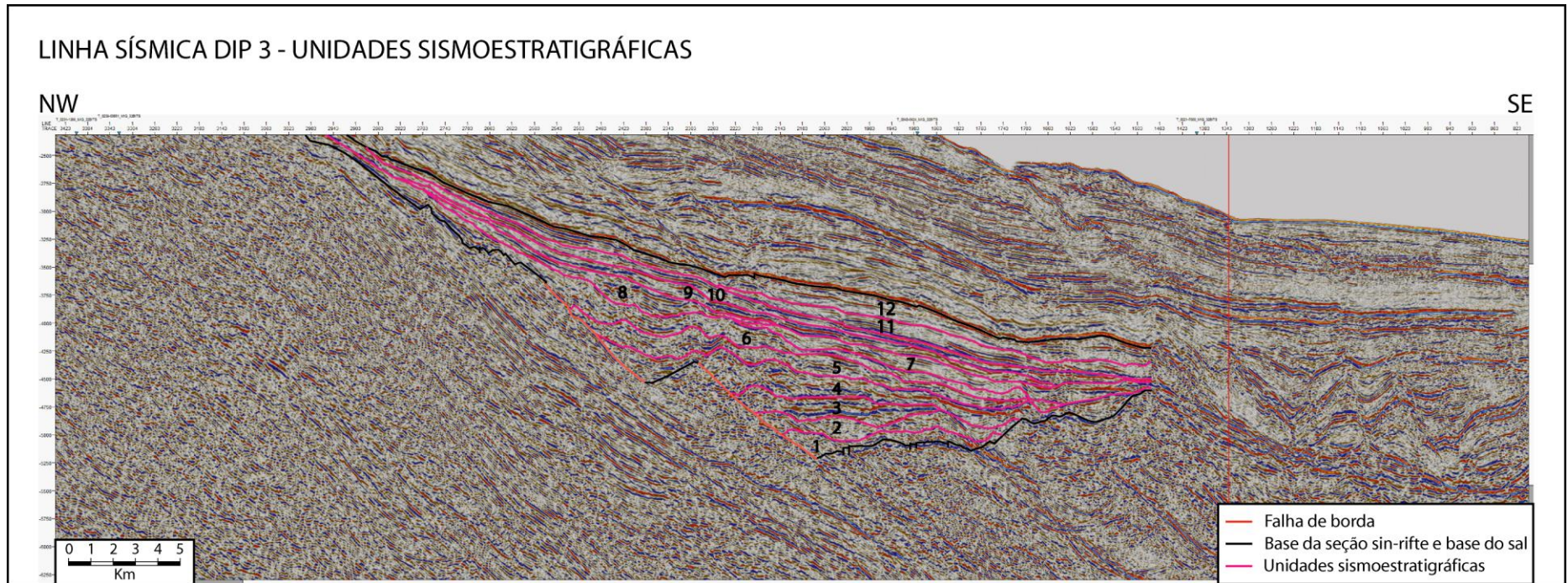


Figura 33. Unidades Sismoestratigráficas identificadas, delimitadas pelas superfícies mapeadas (horizontes rosa).

Na LSD3 foram identificadas e caracterizadas quatro das cinco sismofácies que ocorrem na área de estudo. Estas sismofácies foram denominadas de A, B, C, e D (Figura 34 e Figura 35). A sismofácies A possui refletores caóticos de média a baixa amplitude que ocorrem na unidade 1, 2, 3, 4, e 5, associados a falha de borda (Figura 34 e Figura 35a). A sismofácies B possui refletores de média a alta continuidade e alta amplitude que ocorrem desde a unidade 1 até a unidade 9, tendo a sua deposição mais expressiva na unidade 3, 4, 8 e 9, e menos expressiva nas unidades 1 e 2, onde não ocorre (Figura 34 e Figura 35b). A sismofácies C possui refletores de média continuidade e média a baixa amplitude e refletores de média a alta continuidade e baixa amplitude. Essa sismofácies ocorre da base ao topo da seção analisada, mais precisamente da unidade sismoestratigráfica 1 a unidade sismoestratigráfica 10, tendo sua deposição mais significativa nas unidades 1, 2, 6 e 7, e menos significativa nas unidades expressiva na unidade 3 e 4 (Figura 34 e Figura 35c). A sismofácies D compreende refletores de baixa amplitude, contínuos, com localizadas ocorrências de refletores de alta amplitude (Figura 34 e Figura 35d), contudo, esta sismofácies não será discutida, pois se encontra no intervalo não analisado (Figura 31).

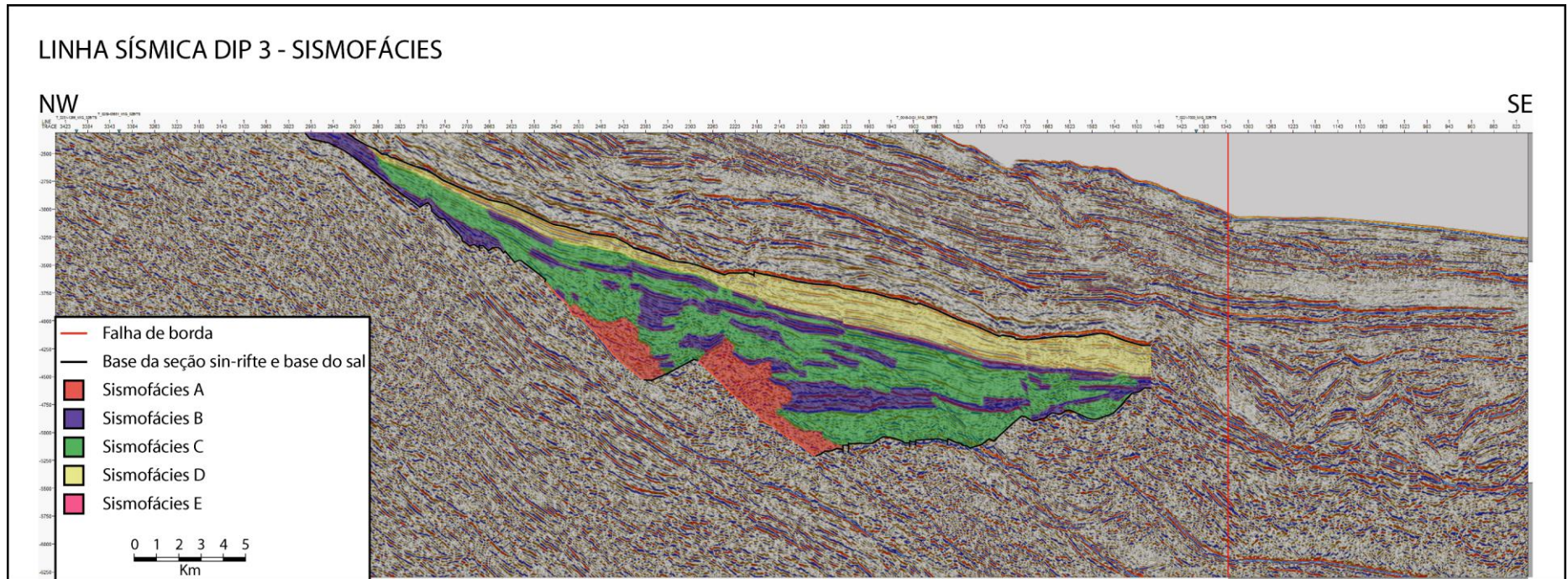


Figura 34. Sismofácies identificadas na LSD3. Sismofácies A ocorrendo junto a falha de borda e lateralmente associada as sismofácies B e C; sismofácies B amplamente distribuída, da base ao topo da seção analisada e da margem falhada a margem flexural do meio-gráben, e lateralmente relacionada as sismofácies A e C; sismofácies C amplamente distribuída, da base ao topo da seção analisada e da margem falhada a margem flexural do meio-gráben, e lateralmente relacionada as sismofácies A e B, e; sismofácies D com ocorrência limitada ao topo da área de estudo, na fase sag da bacia, se estendendo de E a W.

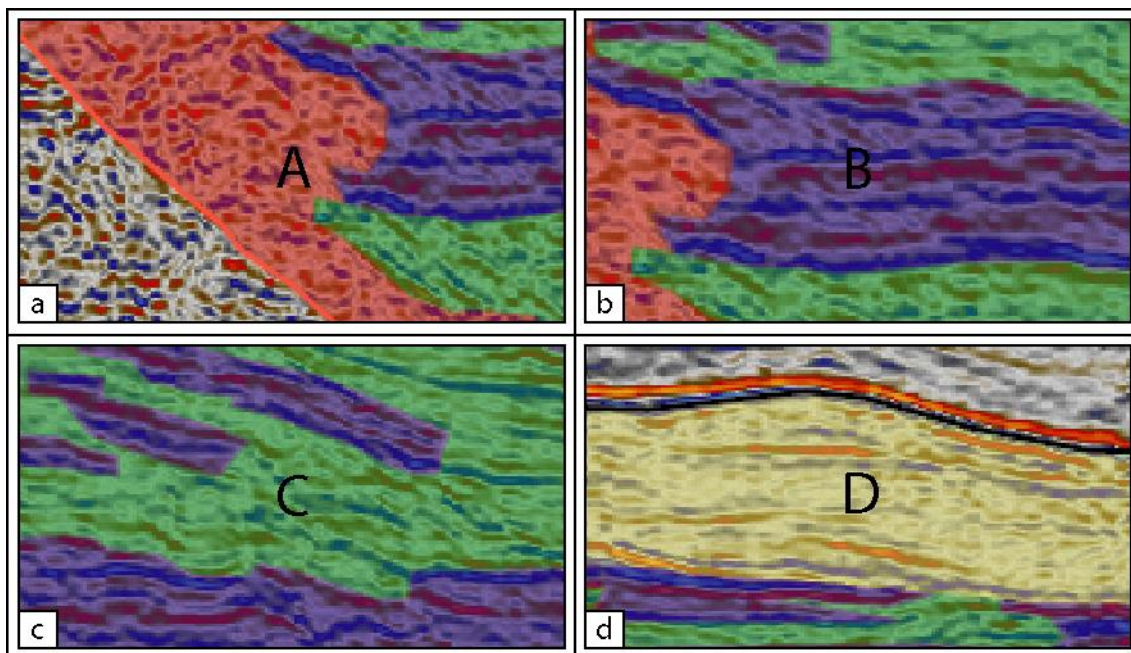


Figura 35. Tipos de sismofácies identificadas na LSD3. a) sismofácies A caracterizada por refletores caóticos de média a baixa amplitude; b) sismofácies B caracterizada por refletores contínuos e de elevada amplitude; c) sismofácies C caracterizada por refletores de média continuidade e média a baixa amplitude, e; d) sismofácies D caracterizada, principalmente, por refletores contínuos de baixa amplitude.

Posteriormente, foi desenvolvida a carta cronoestratigráfica para a linha sísmica dip 3, através da integração das unidades sismoestratigráficas e sismofácies, relacionando os elementos temporais (unidades sismoestratigráficas) e deposicionais (sismofácies) em um gráfico de tempo geológico, que é apresentada na Figura 36. Assim, essa carta cronoestratigráfica (Figura 36) mostra uma expansão do meio-gráben da unidade 1 a unidade 2, tanto a E quanto a W (Figura 36), e uma posterior retração da unidade 2 para a unidade 3 a E, seguida de uma expansão a W (Figura 36). Da unidade 3 para a unidade 4 ocorre uma nova expansão da área do meio-gráben, tanto a E quanto a W (Figura 36), sendo que a E ocorre a sua propagação para além da área de estudo. Assim como na unidade 3, na unidade 5 ocorre uma retração a E, porém, maior que a retração ocorrida durante a deposição da unidade 3, e uma expansão a W (Figura 36). Da unidade 5 para a unidade 6, a E, ocorre uma pequena retração e, a W, ocorre a expansão da unidade 6 para além da área de estudo (Figura 36). O oposto ocorre da unidade 6 para a unidade 7, quando ocorre uma grande retração a W e, a E, uma significativa expansão que se propaga para além da área de estudo (Figura 36). Na unidade 8 ocorre uma grande retração a E e, a W, uma expansão da área do meio-gráben (Figura 36). Essa expansão que ocorre a W é seguida de uma pequena retração na unidade 9, também a W, e de uma expansão da área do meio-gráben a E (Figura

36). Na unidade 10 ocorre a maior expansão verificada na área de estudo, tanto a E quanto a W, com o extravasamento da deposição para além da área de estudo (Figura 36). Da unidade 10 para a unidade 11, ocorre a maior retração da área de estudo verificada na região W e, a E, se mantem a expansão da área do meio-gráben (Figura 36). E, por fim, a unidade 11 marca o fim da deposição na área de estudo com nova expansão a W e a E (Figura 36).

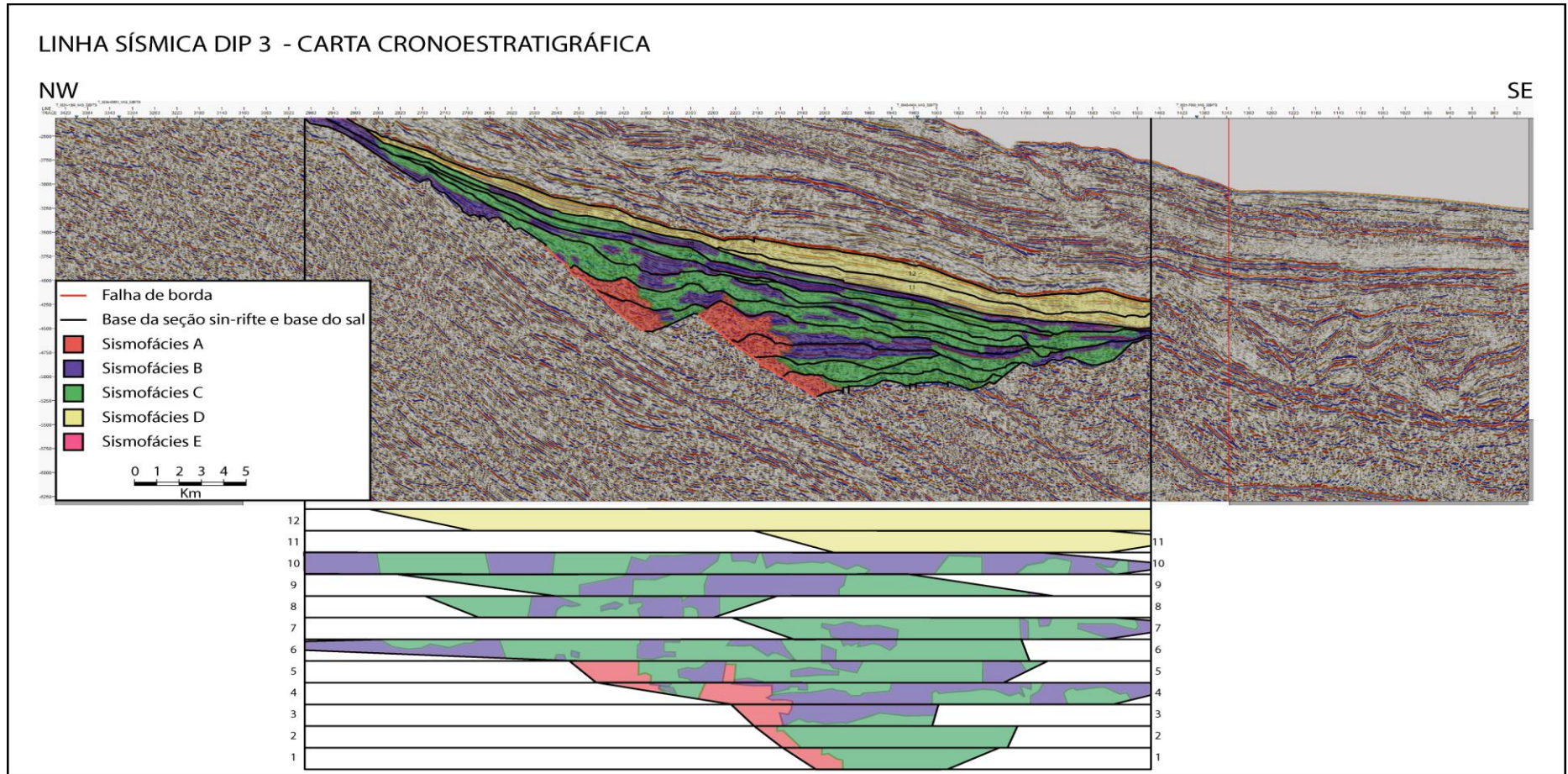


Figura 36. Seção sísmica LSD3, com a interpretação completa e a carta cronoestratigráfica equivalente, apresentando a distribuição temporal das unidades espaciais e seus preenchimentos.

4.4. Linha Sísmica Strike

A Linha Sísmica Strike, LSS, encontra-se localizada na região sudoeste da bacia de Campos, possui orientação NE-SW e corta perpendicularmente as linhas dip 1, 2 e 3 (Figura 8). A estrutura identificada, diferentemente das outras linhas, não possui a estrutura do meio-gráben, com o desenvolvimento de uma margem flexural e uma margem de falha, possui uma forma retangular, pois a sua aquisição se deu paralela à falha principal desse meio-gráben, que ocorrem a W (Figura 37), linha sísmica não-interpretada.

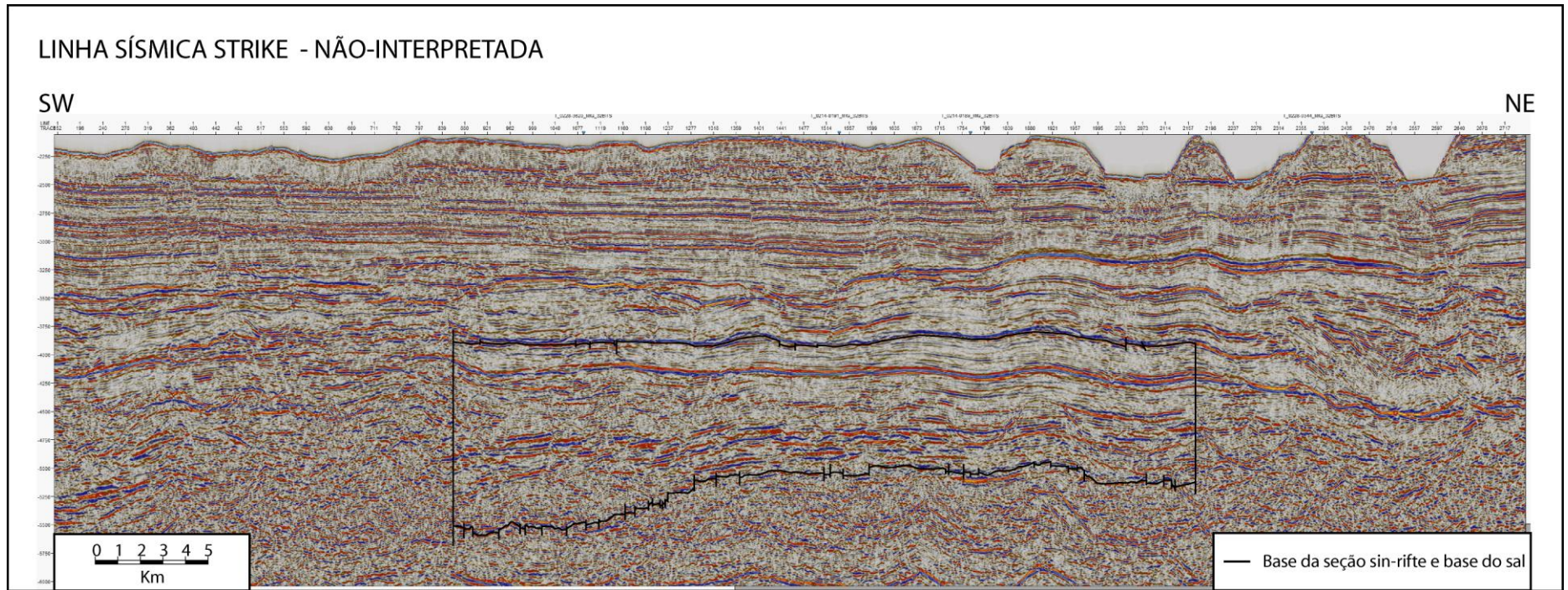


Figura 37. Meio-gráben identificado na LSS, com borda de falha localizada a W e borda flexural a E. A base e o topo da seção sin-rifte são marcados pelos horizontes mapeados. Os limites laterais da interpretação delimitam a área de estudo.

A análise inicial da LSS se deu a partir da identificação dos tipos de refletores, conforme a Figura 37 e Figura 38, que, pela proximidade com a falha de borda identificada na LSD1 (porção basal SW), apresentam baixa continuidade e média a baixa amplitude (Figura 37 e Figura 38a). Estes refletores encontram-se recobertos por uma grande quantidade de refletores de média a alta continuidade e alta amplitude (Figura 37 e Figura 38b), e lateralmente relacionados a uma quantidade pequena de refletores de média continuidade média a baixa amplitude (Figura 37 e Figura 38c).

Na região basal central e E da LSS, ocorre uma grande quantidade de refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 37 e Figura 38c), que se encontram recobertos por uma grande quantidade de refletores de média a alta continuidade e alta amplitude (Figura 37 e Figura 38b).

Na porção central dessa linha ocorre um aumento dos refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 38c), que se encontram amplamente distribuídos, de E a W, porém a espessura verificada na região W é superior (Figura 37). Refletores de média a alta continuidade e alta amplitude ocorrem (Figura 38), mas em quantidade muito inferior a quantidade observada da porção basal (Figura 37).

Na porção superior da seção analisada da LSS, ocorre uma grande quantidade de refletores de média continuidade e média a baixa amplitude (Figura 37 e Figura 38c), que são amplamente recobertos por refletores de média a alta continuidade e alta amplitude que se encontram no topo da seção analisada (Figura 37 e Figura 38a).

No topo da área de estudo ocorre um intervalo com pelo menos três tipos de refletores, porém, essa região não será analisada (Figura 39), pois ela se encontra em uma fase sag – pós-rifte, fora do intervalo de estudo da presente monografia. Porém, nessa seção é notável a grande quantidade de refletores de alta continuidade e baixa amplitude (Figura 37 e Figura 38d).

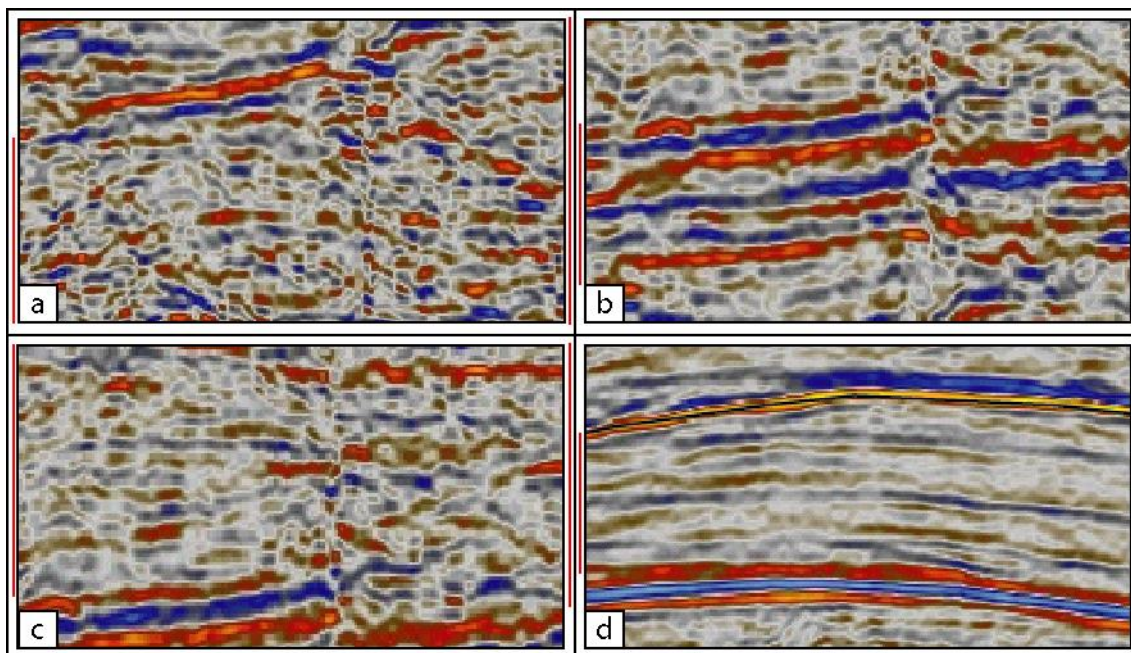


Figura 38. Exemplos de refletores identificados; a) refletores de baixa continuidade e média a baixa amplitude; b) refletores de média a alta continuidade e de alta amplitude; c) refletores de média continuidade e média a baixa amplitude; e d) refletores de alta continuidade e baixa amplitude.

Na LSS foram identificadas e caracterizadas quatro das cinco sismofácies que ocorrem na área de estudo. Estas sismofácies foram denominadas de A, B, C, e D (Figura 40 e Figura 41). A sismofácies A possui refletores caóticos de média a baixa amplitude que ocorrem localmente na região SW da LSS (Figura 40 e Figura 41a). A sismofácies B possui refletores de média a alta continuidade e alta amplitude que ocorrem da base ao topo da seção analisada e amplamente distribuída, de E a W da LSS (Figura 40 e Figura 41b). A sismofácies C possui refletores de média continuidade e média a baixa, ocorre da base ao topo da seção analisada e, também possui ampla distribuição, assim como a sismofácies B (Figura 40 e Figura 41c). A sismofácies D compreende refletores contínuos de baixa amplitude, com localizadas ocorrências de refletores de alta amplitude (Figura 40 e Figura 41d), contudo, esta sismofácies não será discutida, pois se encontra no intervalo não analisado (Figura 39).

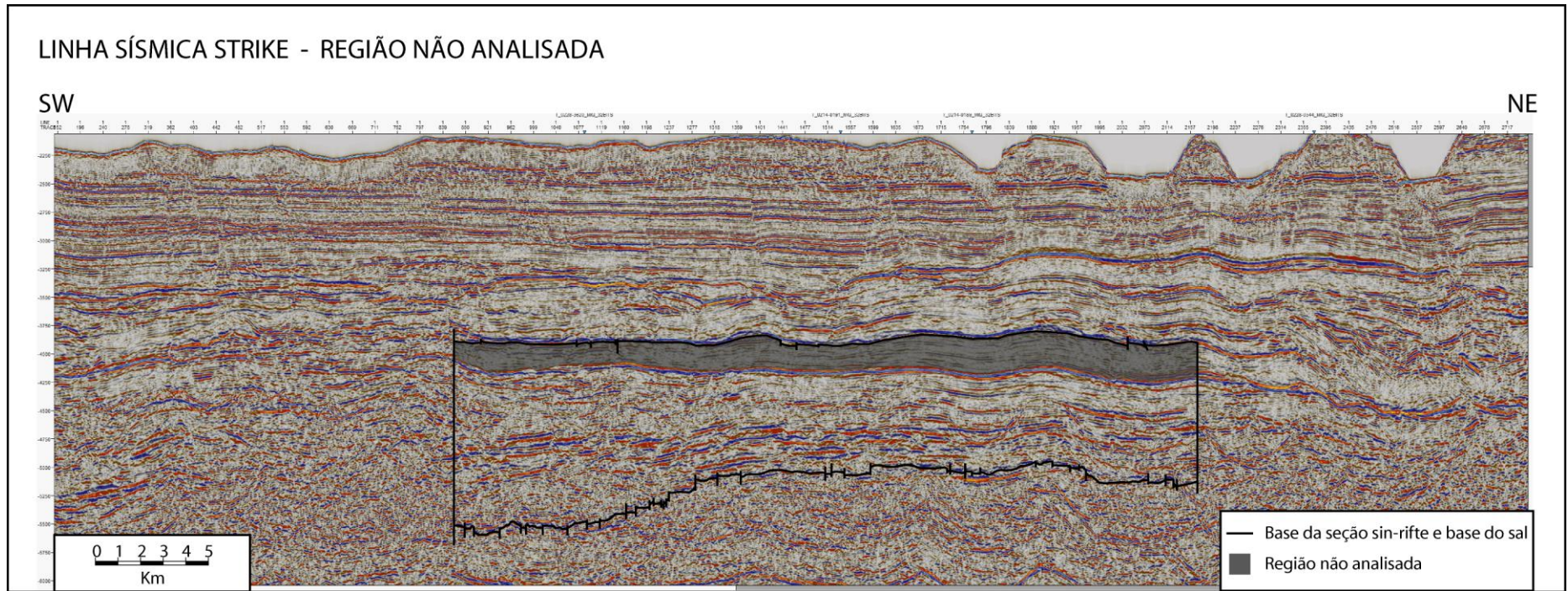


Figura 39. Seção não analisada – fase sag, pós-rifte, em cinza.

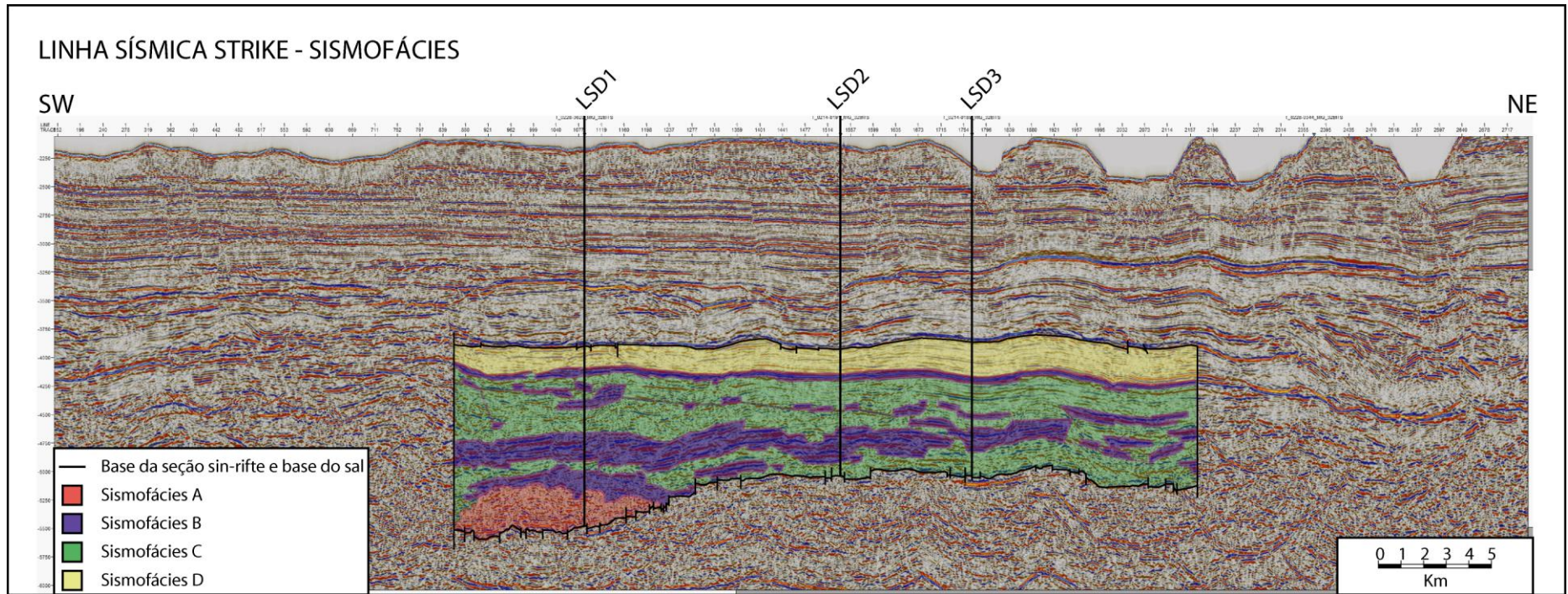


Figura 40. Sismofácies identificadas na LSS. Sismofácies A ocorrendo localmente na região basal SW da LSS; sismofácies B amplamente distribuída, da base ao topo da seção e lateralmente relacionada às sismofácies A e C; sismofácies C amplamente distribuída, da base ao topo da seção e lateralmente relacionada às sismofácies A e B, e; sismofácies D com ocorrência limitada ao topo da área de estudo, na fase sag da bacia, se estendendo de E a W.

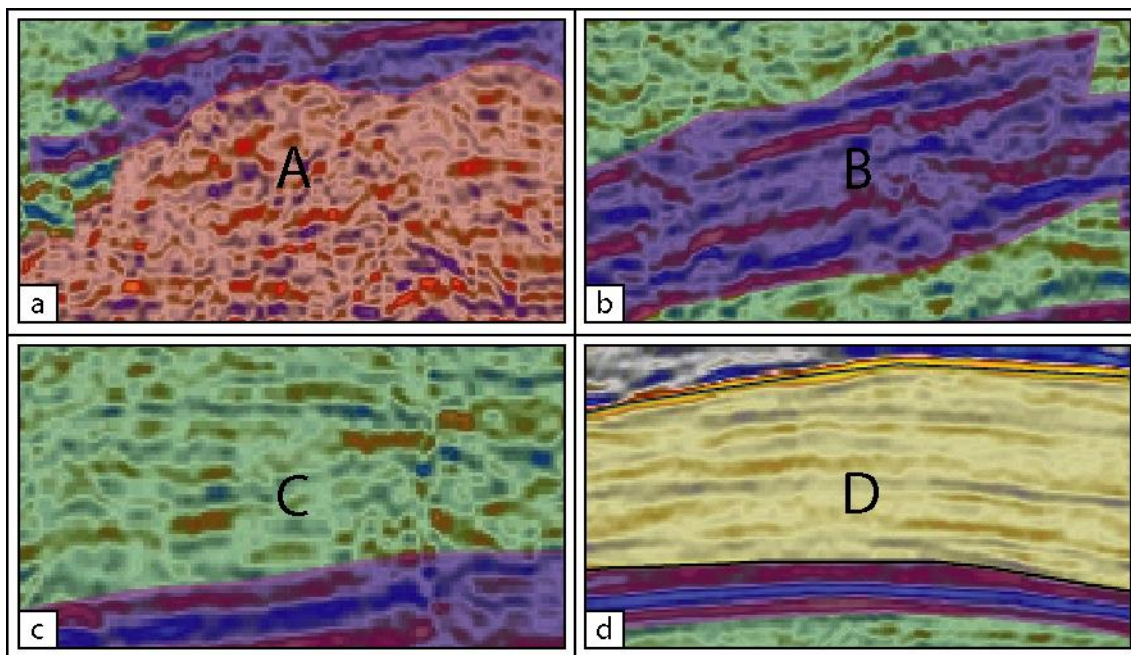


Figura 41. Tipos de sismofácies identificadas na LSS. a) sismofácies A caracterizada por refletores caóticos de média a baixa amplitude; b) sismofácies B caracterizada por refletores de média a alta e de elevada amplitude; c) sismofácies C caracterizada por refletores de média continuidade e média a baixa amplitude, e; d) sismofácies D caracterizada, principalmente, por refletores contínuos de baixa amplitude.

5. INTEGRAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a análise das três linhas sísmicas dip e da linha strike, foi possível estabelecer um modelo evolutivo integrado para a área de estudo, que compreende uma estrutura de meio-gráben na região sul da Bacia de Campos.

Inicialmente, foram reconhecidas um total de 12 unidades sismoestratigráficas na linha LSD3, e 11 unidades sismoestratigráficas nas linhas LSD2 e LSD1. Entretanto, foram reconhecidas exclusivamente pertencentes à fase rifte (excluindo a fase sag), um total de 10 unidades sismoestratigráficas na linha LSD3, e 9 unidades sismoestratigráficas nas linhas LSD2 e LSD1. A caracterização de uma quantidade variável de unidades sismoestratigráficas é comum em um estudo sismoestratigráfico em uma área abrangente, como é o presente caso, e deve-se principalmente a resolução observável em cada linha sísmica, comumente obtidas em tempos diferentes, com equipamentos diferentes, e possivelmente com processamentos pós-aquisição diferenciados. Assim, o produto final visível ao intérprete acaba fornecendo uma maior ou menor resolução na observação e interpretação das terminações dos refletores.

Adicionalmente, sabe-se que os sistemas deposicionais variam lateralmente dentro da bacia. Essa variação geométrica, de espessura, ocorrência e distribuição, bem como composição litológica geral para cada sistema deposicional, pode acabar gerando resultados sísmicos diferentes em linhas diferentes. Por exemplo, sistemas lacustres profundos apresentam uma geral estratificação bem definida, enquanto que sistemas fluviais amalgamados (comumente sistemas entrelaçados) apresentam um baixo contraste de estratificações. Por isso, lateralmente, sistemas fluviais que gradam para sistemas lacustres profundos podem apresentar muito menos resolução observável na seção fluvial do que a lacustre, fazendo com que sejam reconhecidas mais unidades na seção lacustre que a fluvial. Portanto, a quantidade de unidades sismoestratigráficas não deve e não pode ser um elemento

de correlação direta, servindo apenas como base de comparação entre linhas em uma correlação estratigráfica.

Baseando-se na caracterização das sismofácies, onde foram reconhecidas 5 sismofácies distintas (A a E), é possível estabelecer um modelo de sistemas deposicionais relacionados a estas sismofácies. Inicialmente, a sismofácies E representa, interpretativamente, depósitos vulcânicos ou hidrotermais, ou até mesmo um misto entre ambos, relacionados a sistemas vulcânicos ativos durante a fase rifte. Estes sistemas vulcânicos/hidrotermais nunca foram perfurados e amostrados, e esta sismofácies é puramente especulativa, de acordo com o trabalho apresentado por Mitchum *et al.* 1977b, onde os autores apresentam a configuração de *mounds* vulcânicos (Figura 6). A sismofácies A encontra-se geograficamente sempre relacionada a falhas sin-rifte (sin-deposicionais), o que indica que sua gênese e ocorrência encontra-se relacionada a sistemas de falhamentos. Assim, a sismofácies A é interpretada como depósitos de falha de borda, podendo ser sistemas de fan deltas ou *aprons* siliciclásticos descarregados em um ambiente lacustre, ou até sistemas aluviais se eles se encontrarem distantes do lago. A sismofácies D é parte integrante exclusivamente da seção sag da bacia, e não foi analisada por estar fora do intervalo de estudo.

Já as sismofácies B e C apresentam uma interpretação complexa. Baseando-se em testemunhos descritos fora da área de estudo, constatou-se que os principais depósitos lacustres sin-rifte da Fm. Lagoa Feia são compostos por arenitos e pelitos estevensíticos, com ostracodes e pelecípodes, e carbonatos do tipo calcarenitos e calcirruditos bioclásticos (fragmentos articulados e desarticulados, bem preservados, sem abrasão ou fragmentação de pelecípodes), com conteúdo variável de estevensita, comumente maciços, e raramente com laminações plano-paralelas. Desta forma, estima-se que os calcarenitos e calcirruditos apresentariam um contraste sísmico nesta área de estudo, ocorrendo na forma de refletores de alta intensidade e boa continuidade, enquanto que os depósitos finos (arenitos e pelitos estevensíticos) apresentariam baixa intensidade e continuidade variável. Assim, pode-se interpretar que a sismofácies B é composta pelos calcarenitos e calcirruditos bioclásticos, enquanto que a sismofácies C é composta pelos arenitos e pelitos estevensíticos. Quanto ao sistema deposicional, observa-se claramente que a ocorrência dos calcarenitos e calcirruditos (sismofácies B) é errática e praticamente aleatória ao longo do eixo deposicional do meio-gráben (observável principalmente nas Figura 27 e Figura 36). Assim, interpreta-se seu controle deposicional como relacionado a um sistema de

ressedimentação de depósitos originalmente da margem lacustre (mais rasos), que foram remobilizados para regiões mais profundas do lago por gatilhos tectônicos, gerando fluxos gravitacionais ou fluxos turbidíticos compostos essencialmente por bioclastos de pelecípodes e envoltos na sismofácies C, depósitos areníticos e pelíticos estevensíticos lacustres.

A caracterização de um arcabouço estratigráfico seguiu os conceitos fundamentais conforme proposto por Kuchle & Scherer (2010), discutido anteriormente no capítulo 3. Assim, foram reconhecidos três tratos de sistemas tectônicos, porém com uma nomenclatura diferenciada do modelo básico utilizado, conforme apresentado na Figura 42.

Inicialmente foi reconhecido um trato de sistemas tectônico de desenvolvimento de meio-gráben, composto por uma estrutura de meio-gráben embrionária, com pequena extensão quando comparado às estruturas sobrejacentes, e geralmente composto por depósitos finos lacustres. São raras as ocorrências de depósitos resedimentados, pois a atividade tectônica existente ainda é incipiente. Compreende a unidade sismoestratigráfica 1 da linha LSD2 e as unidades sismoestratigráficas 1 a 3 da linha LSD3. Esta unidade não foi reconhecida na LSD1 (Figura 42).

Em sucessão, foi reconhecido um trato de sistemas caracterizado por uma intensa divergência de refletores, com ampla ocorrência dos depósitos da falha de borda, e com sucessivas recorrências e até dominância dos depósitos resedimentados grossos, caracterizando esta unidade como um trato de sistemas de alta atividade tectônica. Este trato compreende a fase da bacia na qual a atividade tectônica é concentrada na falha de borda, gerando a máxima expansão do meio-gráben, com as maiores profundidades possíveis no lago, e intensa e recorrente atividade tectônica – que serve como gatilho para os colapsos de massa que geram os depósitos ressedimentados. Este trato de sistemas tectônico compreende as unidades sismoestratigráficas 1 a 6 da LSD1, as unidades sismoestratigráficas 2 a 6 da LSD2, e as unidades sismoestratigráficas 4 a 5 da LSD3 (Figura 42).

Por fim, foi reconhecido o último trato de sistemas da seção rifte, denominado de trato de sistemas tectônico de baixa atividade tectônica. Este trato é caracterizado por um comportamento inverso ao trato de alta atividade tectônica, onde a divergência das unidades diminui, apresentando um padrão suave e horizontal, com diminuição da atividade da falha de borda, o que por consequência, faz com que diminuam os depósitos de falha de borda. Durante este trato ocorre

uma expansão suave da bacia, com deposição sobre as margens flexurais adjacentes (principalmente a oeste), indicando que a bacia sofre um rearranjo estrutural. Como preenchimento, esta fase é dominada por depósitos finos lacustres, com uma diminuição dos depósitos ressedimentados grossos, o que também indica uma diminuição da atividade tectônica. Possivelmente, o meio-gráben apresentaria um sucessivo raseamento neste trato, mas sem indícios de exposição subaérea (discordâncias) (Figura 42).

Não foi reconhecido um trato de sistemas de início de rifte, pois não foram identificadas unidades sismoestratigráficas relacionadas a uma deposição controlada por uma bacia sinformal endorreica, conforme previsto por Kuchle & Scherer (2010), e isso pode estar relacionado a uma atividade tectônica intensa em um curto período de tempo no segmento rifte da Bacia de Campos. Os nomes propostos por Kuchle & Scherer (2010) de trato de sistemas de clímax e final do rifte não foram utilizados, pois eles são diretamente relacionados a padrões de empilhamento, os quais não foram reconhecidos na área de estudo. A distribuição dos sistemas deposicionais indicou apenas a recorrência, por vezes aleatória, dos depósitos ressedimentados grossos imersos nos depósitos lacustres finos, sem um padrão de empilhamento definível. Assim, optou-se por estabelecer os nomes dos tratos de sistemas tectônicos apenas baseados nos padrões geométricos e na ocorrência dos depósitos ressedimentados – diretamente relacionados à atividade tectônica.

Intervalos dos Tratos de Sistemas Tectônicos	Linha Sísmica Dip 1	Linha Sísmica Dip 2	Linha Sísmica Dip 3
Pós-Rifte	10 - 11	10 - 11	11 - 12
T. S. T. de Baixa Atividade Tectônica	6 - 9	7 - 9	7 - 10
T. S. T. de Alta Atividade Tectônica	1 - 6	2 - 6	4 - 5
T. S. T. de Desenvolvimento de Meio-Gráben	X	1	1 - 3
<p>— Discordância Pós-Rifte</p> <p>— Superfície de Mudança de Atividade Tectônica</p> <p>— Superfície de Desenvolvimento de Meio-Gráben</p> <p>— Discordância Sin-Rifte</p>			

Figura 42. Tratos de sistemas tectônicos identificados e suas superfícies limítrofes para cada linha e unidades pertencentes a cada trato de sistema tectônico.

5.1. Modelo Tridimensional da área de estudo

Partindo das interpretações sismoestratigráficas detalhadas realizadas para as três linha dip e uma linha strike, conforme o Capítulo 4, foi possível criar o modelo 3D para a Bacia de Campos com a utilização do *software* Petrel. Este modelo foi criado com a utilização de todas as linhas 2D localizadas na área de estudo (Figura 8), que é composta por 6 linhas dip e 2 linhas strike, e visa um melhor detalhamento da área de estudo.

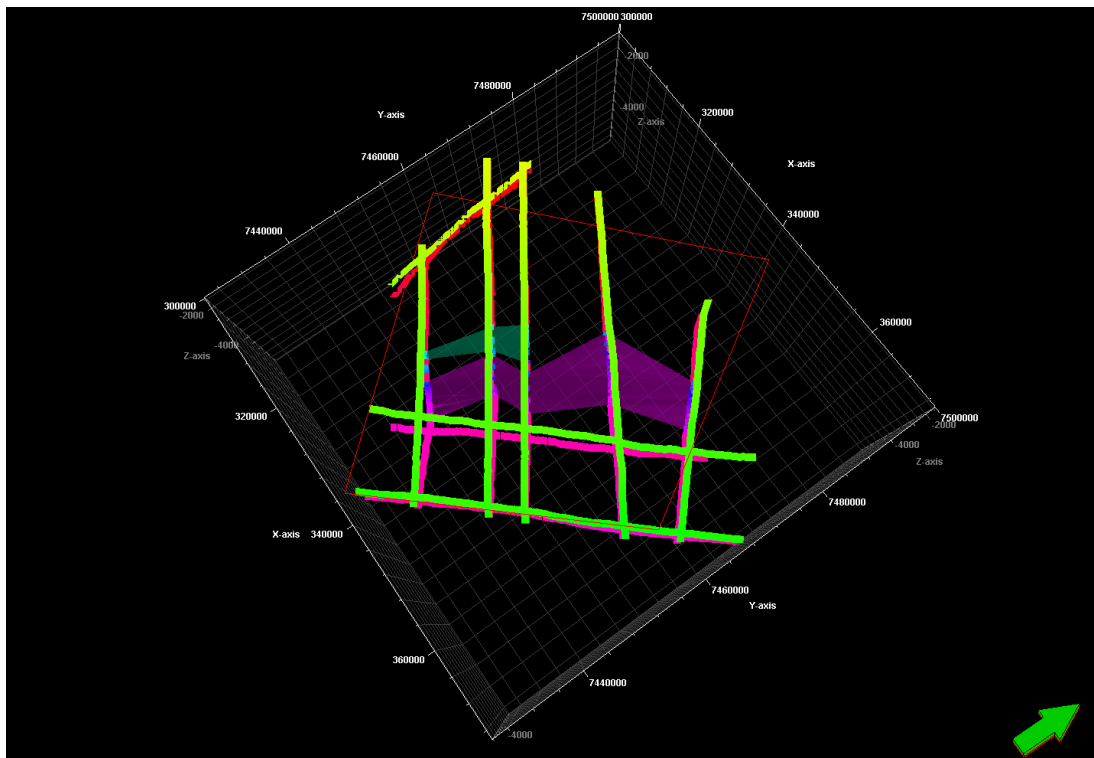


Figura 43. Modelo 3D da área de estudo visto em planta. As linhas verdes/amarelas mostram o topo da seção analisada, as linhas rosas mostram a base da seção analisada, as falhas de borda aparecem em Roxo e verde escuro e a área de estudo em vermelho.

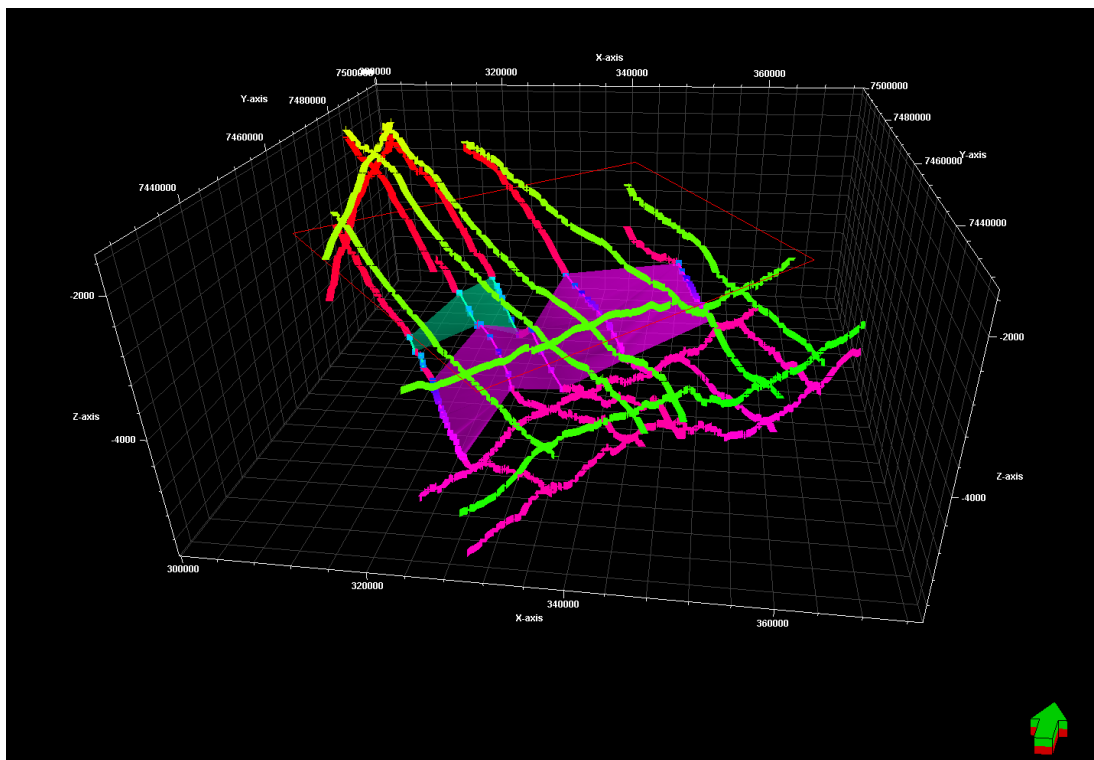


Figura 44. Modelo 3D da área de estudo visto de sul para norte. As linhas verdes/amarelas mostram o topo da seção analisada, as linhas rosas/vermelhas mostram a base da seção analisada, as falhas de borda aparecem em Roxo e verde escuro e a área de estudo em vermelho.

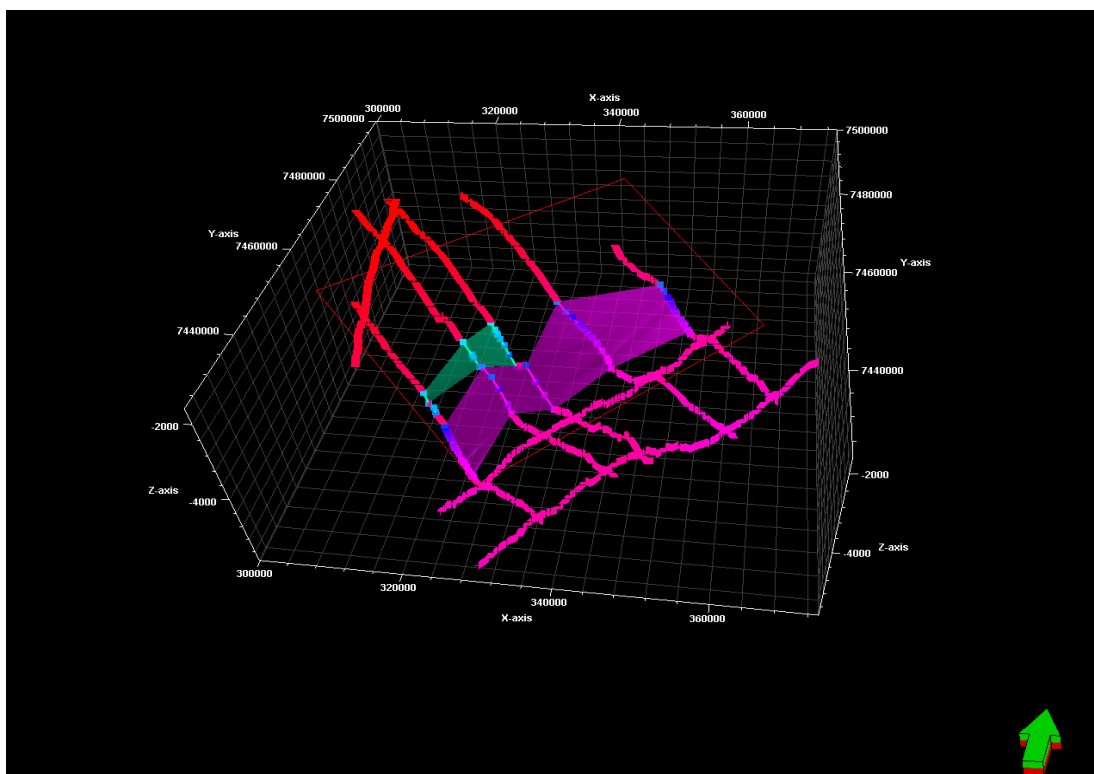


Figura 45. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D em outra perspectiva. Ilustração da Superfície de desenvolvimento de Meio-Gráben na linha sísmica dip1 e Discordância Sin-Rifte nas demais linhas analisadas.

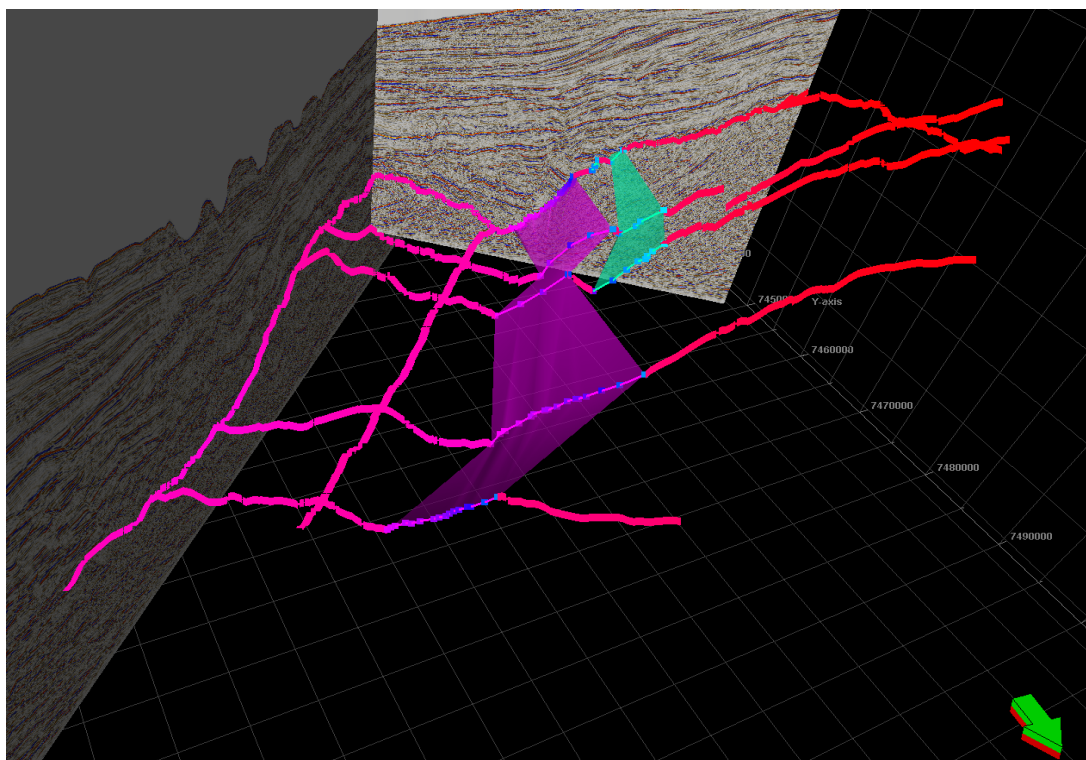


Figura 46. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando, junto com o modelo, as linha sísmica dip 1 e linha sísmica strike localizada a E da linha sísmica strike analisada.

6. CONCLUSÕES

A partir da aplicação dos métodos de interpretação sismoestratigráfica adotados neste trabalho e integração do modelo proposto para análise de bacias do tipo rifte, foi possível a elaboração de um modelo evolutivo integrado de um meio-gráben componente do sistema rifte da Bacia de Campos.

Através da identificação das terminações de refletores, individualização das unidades sismoestratigráficas e caracterização das sismofácies, foi possível dividir as seções sísmicas estudadas em Tratos de Sistemas Tectônicos e superfícies limítrofes, que levam em consideração a quantidade de atividade tectônica relacionada a cada trato de sistemas, oferecendo uma melhor compreensão dos padrões estratais, definindo o arcabouço sismoestratigráfico do meio-gráben, a geometria dos seus depósitos e como ocorreu o preenchimento dessa calha rifte.

O modelo utilizado como base para a análise do intervalo estudado, Kuchle & Scherer (2010), se mostrou satisfatório em sua aplicabilidade, porém, os nomes propostos pelos autores, trato de sistemas de clímax e final do rifte, não foram utilizados, pois eles estão diretamente relacionados a padrões de empilhamento, os quais não foram reconhecidos na área de estudo. Assim, foi possível o reconhecimento 11 unidades sismoestratigráficas nas linhas sísmicas dip 1 e 2 e 12 unidades sismoestratigráficas na linha sísmica 3. Essas unidades compreendem três Tratos de Sistemas Tectônicos. São eles: Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, Trato de Sistemas Tectônico de Alta Atividade Tectônica e Trato de Sistemas Tectônico de Baixa Atividade Tectônica. O trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento do Meio-Gráben é composto por uma estrutura de meio-gráben embrionária, com pequena extensão quando comparado às estruturas subjacentes, e é geralmente formado por depósitos finos lacustres. O Trato de Sistemas Tectônico de Alta Atividade Tectônica, por sua vez, é caracterizado por uma intensa divergência de refletores, com ampla ocorrência dos

depósitos da falha de borda, e com sucessivas recorrências e até dominância dos depósitos resedimentados grossos. O Trato de Sistemas Tectônicos de Baixa Atividade Tectônica é caracterizado pela diminuição da divergência das unidades, apresentando um padrão suave e horizontal, com diminuição da atividade da falha de borda, que faz com que diminuam os depósitos de falha de borda. O preenchimento desta fase é dominada por depósitos finos lacustres, com uma diminuição dos depósitos resedimentados grossos, o que também indica uma diminuição da atividade tectônica.

Adicionalmente, foram identificadas na área de estudo, cinco sismofácies distintas. São elas: sismofácies A caracterizada por depósitos de falha de borda, podendo ser sistemas de fan deltas ou *aprons* siliciclásticos descarregados em um ambiente lacustre, ou até sistemas aluviais se eles se encontrarem distantes do lago; sismofácies B é caracterizada por carbonatos do tipo calcarenitos e calcirruditos bioclásticos; a sismofácies C é caracterizada por arenitos e pelitos estivensíticos; a sismofácies D é parte integrante exclusivamente da seção sag da bacia, e não foi analisada por estar fora do intervalo de estudo, e; a sismofácies E, que possivelmente representa depósitos vulcânicos ou hidrotermais, ou até mesmo um misto entre ambos, relacionados a sistemas vulcânicos ativos durante a fase rifte.

O presente trabalho representa uma pequena parte de toda Bacia de Campos, no qual a evolução sismoestratigráfica de uma calha rifte foi detalhada. Para uma melhor compreensão da bacia, no que diz respeito às feições estruturais e estratigráficas, é necessário ampliar os estudos para uma área de maior abrangência, integrando as interpretações obtidas nos diferentes meio-grabéns componentes do rifte de Campos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim Mensal Da Produção de Petróleo e Gás Natural. Setembro, 2013, p. 6-22.

Almeida, F.F.M.de, Carneiro, C.D.R & Mizusaki, A.M.P. 1996. Correlação do magmatismo das bacias da margem continental Brasileira com o das áreas emersas adjacentes. Rev. Bras. Geoc., v.;125-138.

Asmus, H.E. & Baisch, P.R. 1983. Geological evolution of the Brazilian continental margin.

Asmus, H. E.; Porto, R. Diferenças nos estágios iniciais da evolução tectônica da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31. Balneário Camburiú-SC, 1980. Anais...Balneário de Camburiú: SBG, v.1, p. 225-239.

Barboza, E. G., 2005. Análise Estratigráfica do Campo de Namorado (Bacia de Campos) com base na Interpretação Sísmica Tridimensional – Tese de Doutorado, UFRGS.

Bertani, R.T. & Carozzi, A.V. 1985. Lagoa Feia Formation (Lower Cretaceous), Campos Basin, Offshore Brazil: Rift Valley Stage Lacustrine Carbonate Reservoirs – II. *Journal of Petroleum Geology*, 8(2):199-220.

Bertani, R.T., & Carozzi, A.V. 1984, Microfacies, Depositional Models and Diagenesis of Lagoa Feia Formation (Lower Cretaceous) Campos Basin, Offshore Brazil: Ciência-Técnica-Petróleo, Petrobras Cenpes, v.14, p.104.

Emery, D., Myers, K.J. (eds.). 1996. Sequence Stratigraphy. Osney Mead, Oxford: Blackwell Science, 297 p.

Kuchle, J., Scherer, C.M.S. Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro. v. 18, n. 2, p. 179-206, 2010.

Lentini, M.R.; Fraser, S.I.; Sumner, H.S.; Davies, R.J. Geodynamics of the central South Atlantic conjugate margins: implications for hydrocarbon potential. *Petroleum Geoscience*, v. 16, n. 3, p. 2017-229, 2010.

Mitchum Jr., R.M.; Vail, P.R.; Sangree, J.B. 1977b. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C. E. (ed) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa: AAPG, p. 117-133. (Memoir 26).

Mitchum Jr., R.M.; Vail, P.R.; Thompson, S. 1977a. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis. In: Payton, C. E. (ed) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa: AAPG, p. 53-63. (Memoir 26).

Moraes, M.A.S., 1989. Diagenetic evolution of Cretaceous-Tertiary turbidite reservoirs, Campos Basin, Brazil. The American Association of petroleum Geologists Bulletin, 73, 5, 598-612.

Ribeiro, H. J. P. S. (org.) 2001. Estratigrafia de Seqüências: Fundamentos e Aplicações, Ed. Unisinos, São Leopoldo, RS, 481p.

Sloss, L.L.; Krumbein, W.C.; Dapples, E.C. 1949. Integrated facies analysis. In: Longwell, C.R. (Ed.). Sedimentary Facies in Geologic History. Geological Society of America, Memoir 39, Boulder, p. 91-124.

Wheeler, H.E. 1958. Time stratigraphy. AAPG Bulletin, Tulsa, v. 42, p. 1047-1063.

Winter, W.R.; Jahnert, R.J.; França, A.B. 2007. Bacia de Campos. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 511-530.