



Sismoestratigrafia em Bacias Rifte. Aplicação na Região Nordeste da Bacia do Recôncavo.

Edric Brasileiro Troccoli^{1*}; Michael Holz¹

¹GETA / Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicada - Universidade Federal da Bahia

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

This paper presents a proposal for seismic interpretation in the northeastern region of the Reconcavo Basin - Northeast of Brazil – according to the concepts of Sequence Stratigraphy of Rift Basins in which the basin is divided into so-called Tectonic Tracts (TT). The criteria for the establishment of a seismostratigraphy interpretation model are discussed as well as the methodology used for their elaboration. Results generated include geological correlation sections, interpretation of seismic horizons, seismic facies table and stratal terminations map.

Introdução

A Estratigrafia de Sequências moderna tornou-se uma das ferramentas mais fundamentais na análise de bacias, porém seus conceitos e princípios foram originalmente estabelecidos para sucessões sedimentares depositadas sob forte influência da eustasia.

Devido à aplicabilidade desta ferramenta houve a necessidade de adaptações do modelo clássico no intuito de adequar os princípios básicos a outros estilos tectônicos, tais como as bacias rifte. Neste contexto, especial importância tem o trabalho de Prosser (1993) com seu modelo de Tratos de Sistemas Tectônicos que leva em conta os principais problemas de adaptação da estratigrafia de sequências a contextos tectonicamente ativos.

A afirmação desta adaptação em ambiente sísmico através da construção de um modelo sismoestratigráfico coerente é de suma importância para o seu estabelecimento como ferramenta prática de trabalho.

Com este intuito, este trabalho apresenta uma proposta de interpretação sísmica em uma área de estudos na região nordeste da Bacia do Recôncavo – NE do Brasil, demonstrando a aplicabilidade desta ferramenta de trabalho e contribuindo para o aprimoramento dos conceitos relacionados a interpretação sísmica em bacias tectonicamente ativas tais como a bacia em estudo.

Geologia Regional e da Área de Estudos

A Bacia do Recôncavo (figura 1), localizada na região nordeste do Brasil no estado da Bahia, com área de aproximadamente 11.500 km², está inserida em um grande rifte intracontinental, o Sistema de Riftes Recôncavo-Tucano-Jatobá, que ficou preservado como um ramo abortado referente aos esforços distensionais

que resultaram na fragmentação do Supercontinente Gondwana.

A arquitetura básica da bacia é de um sistema de meio-grabens com orientação geral NE-SW e falha de borda a leste. O mergulho regional das camadas para leste é condicionado por falhamentos normais planares com direção preferencial N30°E e taxas de extensão variadas em diferentes partes da bacia são acomodadas por de zonas de transferência com orientação N30°W.

As sequências sedimentares que preenchem a bacia compreendem principalmente os depósitos acumulados durante o processo extensional juró-cretáceo com espessura máxima, superior a 6.500 m. As principais litologias presentes relacionam-se a sistemas deposicionais continentais eólicos, flúvio-deltaicos, e lacustres além de sistemas de leques aluviais vindos da margem falhada.

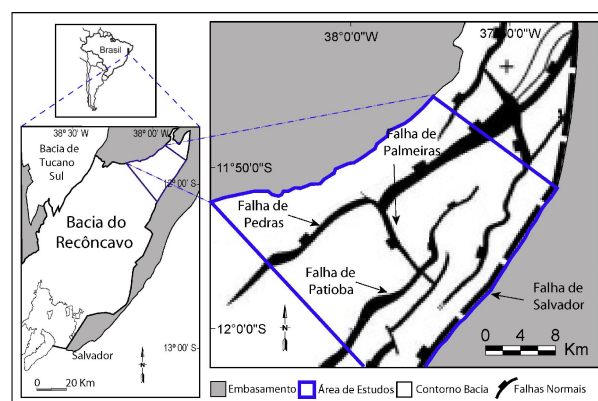


Figura 1 – Mapa da Bacia do Recôncavo. Em detalhe principais estruturas presentes na área de estudos.

A área de estudos se localiza na região nordeste da bacia do Recôncavo (figura 1). Acompanhando o arcabouço geral da bacia o compartimento nordeste está estruturado pelos dois principais sistemas de falhamentos de direção NE-SW e NW-SE. A área estudada compreende as regiões do Patamar de Patioba e do Baixo de Quiambina.

Os sistemas NE-SW mais expressivos limitam a área de estudos a NW (Falha de Pedras) e a SE (Falhas de Patioba) ambos sintéticos à falha de borda de Salvador. Falhas de alívio limitam a área a Sul (Falhas de Itanágra-Araças) e Norte (Falha de Palmeiras). Toda a região está mergulhante para SE.

Metodologia

Para a interpretação geológica da área de estudos e para a construção do modelo sismoestratigráfico proposto foram utilizadas 15 linhas sísmicas 2d migradas em tempo além de 14 perfis geofísicos de poços. A figura 2 mostra a disposição das linhas e dos 11 poços que puderam ser amarrados à sísmica através de sismogramas sintéticos.

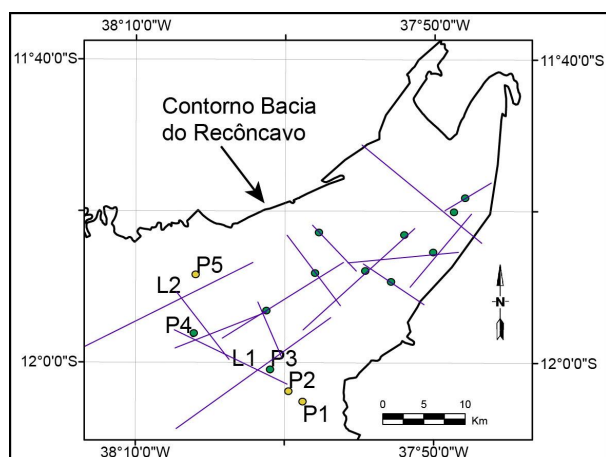


Figura 2: Disposição dos dados sobre a região de estudos. Linhas sísmicas em lilás e poços amarrados à sísmica em verde.

As etapas desenvolvidas neste trabalho foram as seguintes:

- Interpretação dos perfis geofísicos de poços onde foram demarcadas as superfícies estratigráficas do modelo baseando-se no mapeamento de padrões presentes nas curvas de propriedades físicas
- Carregamento dos dados na estação de trabalho.
- Construção de seções de correlação estratigráficas e geológicas.
- Construção de curvas tempo x profundidade a partir dos dados de sônicos dos perfis.
- Amarração sísmica x poços através de sismogramas sintéticos.
- Interpretação sísmica. Imediatamente após a conclusão das etapas acima descritas foram feitas as interpretações sísmicas. A transposição do modelo estratigráfico para o ambiente sísmico se deu basicamente com o mapeamento de terminações de refletores sísmicos, geometrias e fácies sísmicas culminando nas interpretações das superfícies que separam cada Trato Tectônico.

Estratigrafia de Sequências em Bacias Rifte

O modelo da Estratigrafia de Sequências adaptado ao contexto rifte possui alguns conceitos básicos:

- As bacias rifte desenvolvem-se através de sistemas de meio-grabens. O meio-graben é formado por uma rampa de declividade variável, sendo limitados em apenas uma de suas bordas por falhas normais. Possuem dois compartimentos: o que está acima do plano de falha é a capa ou o *hangingwall*; e o que está abaixo do plano de falha é a lapa ou o *footwall*.

- A tectônica é o principal controlador do nível de base e da sedimentação. Através do seu regime característico de movimentação, controla a criação e destruição do espaço de acomodação através de pulsos tectônicos, que podem causar soerguimento e subsidência do sistema de meio-grabens, controlando a bacia de drenagem e as áreas sujeitas à erosão.

- Os movimentos das falhas (pulsos tectônicos) geram, concomitantemente, subsidência (no *hangingwall*) e soerguimento (no *footwall*), devido à rotação do bloco no meio-graben. Como resultado, há destruição de espaço sincronicamente à criação de espaço. Ou seja, em áreas relativamente próximas, é possível correlacionar uma discordância com um evento transgressivo.

- O pulso tectônico e a criação de espaço são considerados geologicamente instantâneos. No entanto, há uma diferença entre o tempo do pulso tectônico e o aporte sedimentar vindo da margem flexural, que chegará atrasado. Deste modo, pulsos tectônicos são marcados por eventos de inundação e episódios de progradação relacionam-se a diminuições na atividade tectônica e chegada atrasada do aporte sedimentar da margem flexural. Na margem falhada, a sedimentação responde de forma geologicamente instantânea a atividade tectônica.

- O reconhecimento da fase rifte poder ser obtida em termos práticos através da divisão da bacia em: Estratos Pré-Rifte que são depositados antes do rifteamento. Apresentam-se como camadas plano-paralelas e inclinadas, retratando depósitos mais antigos que sofreram rotações estruturais associadas à tectônica do rifte; Estratos Sin-Rifte que são os depósitos vinculados à fase de rifteamento ativo e são reconhecíveis pelo espessamento contra o *hangingwall* (padrão leque ou divergente) e pelos leques vindos do *footwall*. Esses estratos são delimitados em sua base pela Discordância Sin-Rifte (DSR); Estratos Pós-Rifte que são aqueles depositados após a fase de rifteamento ativo, na fase de subsidência termal. São delimitados em sua base pela Discordância Pós-Rifte (DPR) ou *Breakup Unconformity* (para os riftes que evoluíram para margem passiva).

A partir das premissas anteriores, pôde ser construído um modelo estratigráfico que se baseia no arranjo dos sistemas deposicionais para determinar as fases evolutivas de uma bacia rifte, suas superfícies limítrofes e suas relações entre variáveis controladoras. Sua compartimentação baseia-se nos chamados Tratos de Sistemas Tectônicos ou simplesmente Tratos Tectônicos (TT), utilizados inicialmente por Prosser (1993). No presente trabalho foi utilizada uma simplificação do modelo de Prosser (1993) na qual a bacia foi compartimentada em três Tratos Tectônicos.

Trato Tectônico de Início de Rifte (TTIR): As fases iniciais de desenvolvimento do rifte são caracterizadas por pequenos, numerosos e isolados vales estruturados por falhas de borda, e que durante a fase principal de rifteamento, algumas dessas falhas se unem para formar a falha de borda principal. O TTIR representa os primeiros depósitos associados aos pulsos iniciais de estiramento crustal, onde a tectônica é ainda incipiente com reduzida criação de espaço, o aporte sedimentar consegue preencher o espaço criado facilmente, resultando em uma geometria estratal agradacional a progradacional. A base deste trato é representada pela Discordância Sin-Rifte (DSR) (figura 3).

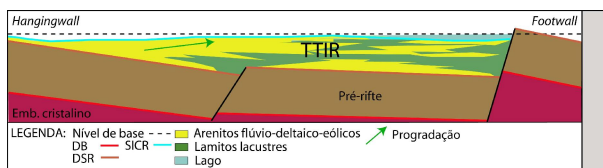


Figura 3 – Modelo do Trato Tectônico de Início de Rifte.

Trato Tectônico de Desenvolvimento de Rifte (TTDR): Esse trato de sistemas é a principal fase do rifte em termos de sua estruturação. Ele representa o momento de aumento e máxima atividade tectônica da bacia. A geometria típica do rifte começa a ser bem caracterizada com o desenvolvimento de grandes sistemas de meio-grabens e estabelecimento das falhas de borda principais. Altas taxas de subsidência e consequente criação de espaço de acomodação são registradas. O aporte sedimentar é superado por essa elevada criação de espaço, resultando em agradação e depois intensa retrogradação dos sistemas flúvio-deltaicos no *hangingwall*, enquanto que no *footwall* ocorre agradação de sistemas de leques aluviais. Também em resposta à atividade tectônica é gerada uma grande quantidade de depósitos associados a turbiditos, *slumps* e *slides* juntamente com as lamas e siltes do sistema lacustre. A base deste trato é marcada pela Superfície de Início de Desenvolvimento do Rifte (SIDR). A máxima expansão do sistema lacustre (final deste trato tectônico) marca a chamada Superfície de Máximo Rifteamento (SMR) (figura 4).

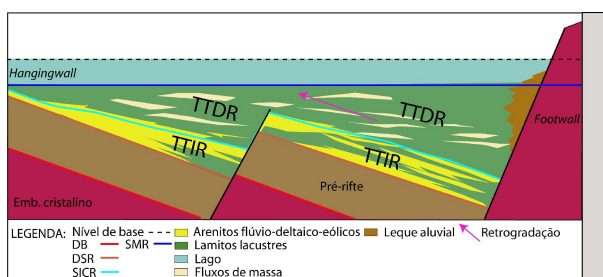


Figura 4 - Modelo do Trato Tectônico de Desenvolvimento de Rifte.

Trato Tectônico de Final de Rifte (TTFR): Este trato de sistemas representa o fim da fase ativa do rifte. A sua base é marcada pela SMR. Sua evolução envolve uma diminuição da atividade tectônica com consequente diminuição da criação de espaço de acomodação,

redução da extensão territorial do meio-gráben, recuo do sistema lacustres. Na borda falhada há avanço dos sistemas de leques aluviais logo após a SMR e retrogradação posterior à medida em que ocorre a erosão das áreas ainda elevadas. Toda a área lateral da calha, assim como os altos topográficos soerguidos durante o TTDR serão erodidos. A relação entre baixas taxas de criação de espaço e intenso aporte sedimentar resulta em tendências altamente progradacionais provenientes da margem flexural.

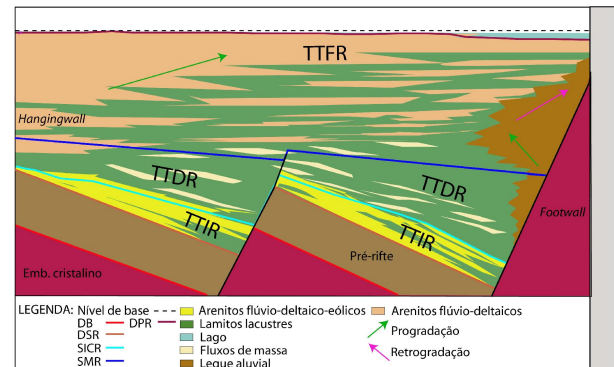


Figura 5 - Modelo do Trato Tectônico de Final de Rifte.

Resultados

Como foi descrito anteriormente, após a interpretação dos poços foram construídas diversas seções de correlação estratigráficas e geológicas. Essa seções serviram para auxiliar nas interpretações sísmicas. A etapa seguinte foi a construção de tabelas tempo-profundidade a partir dos dados de perfis sísmico disponíveis. Posteriormente foi feita a amarração sísmica-poço através de sismogramas sintéticos. Os passos seguintes foram as interpretações sísmicas. A figura 6 mostra uma comparação entre uma seção geológica e uma linha sísmica interpretada.

A partir disto, baseando-se no rastreamento de terminações estratais, configurações dos refletores assim como das geometrias das fácies sísmicas foram interpretadas as principais superfícies estratigráficas que dividem a bacia nos Tratos Tectônicos. A figura 7 demonstra alguns destes horizontes mapeados para os dados sísmicos utilizados neste trabalho.

Deste modo, a sedimentação da bacia rifte apresenta estágios com padrões sísmicos passíveis de reconhecimento. As figuras 8 e 9 representam um resumo, em termos das características sismoestratigráficas, dos dados obtidos a partir das interpretações realizadas.

A discordância basal (DB), figura 8.a, marca a base dos Estratos Pré-Rifte separando o embasamento cristalino da sedimentação anterior ao rifteamento. Essa superfície é comumente sobreposta ao primeiro refletor de alta amplitude, marcando a passagem de uma fácies sem reflexões evidentes abaixo para fácies que apresentam padrões estratificados, com a presença de refletores descontínuos e de baixa amplitude (FS1, figura 9) acima.

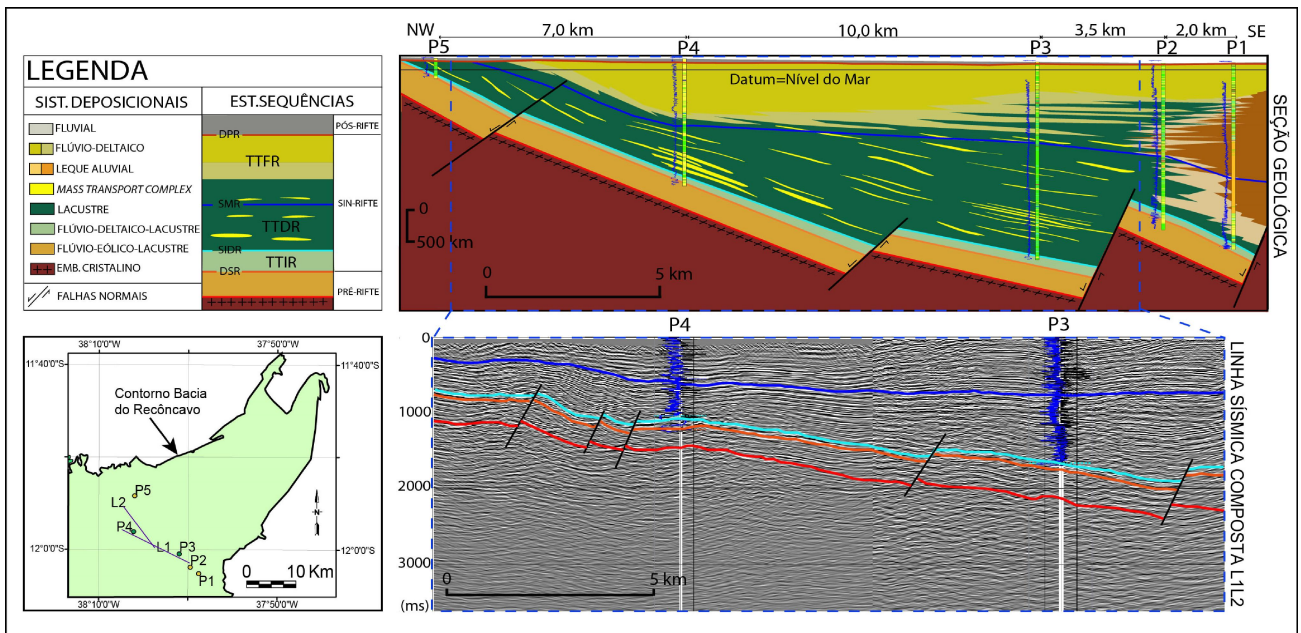


Figura 6 - Comparação entre uma seção geológica e a linha sísmica composta L1L2 interpretada. Dentre os poços apresentados na seção geológica somente P3 e P4 foram amarrados à sísmica L1. Em azul perfis geofísicos de raios gama, em preto sísmogramas sintéticos dos poços P3 e P4.

A sedimentação Pré-Rifte ainda é marcada por diversas terminações (*onlaps*, *downlaps* e truncamentos erosivos), resultado da conjugação de sistemas fluviais, lacustres e eólicos. A DSR marca a base do TTIR sendo mapeada através de truncamentos erosivos (figura 8.b).

A sedimentação do TTIR apresenta refletores plano-paralelos de média amplitude e continuidade (FS2, figura 9). A SIDR limita os depósitos relacionados ao TTIR e estratos Pré-Rifte da sedimentação pertencente ao TTDR.

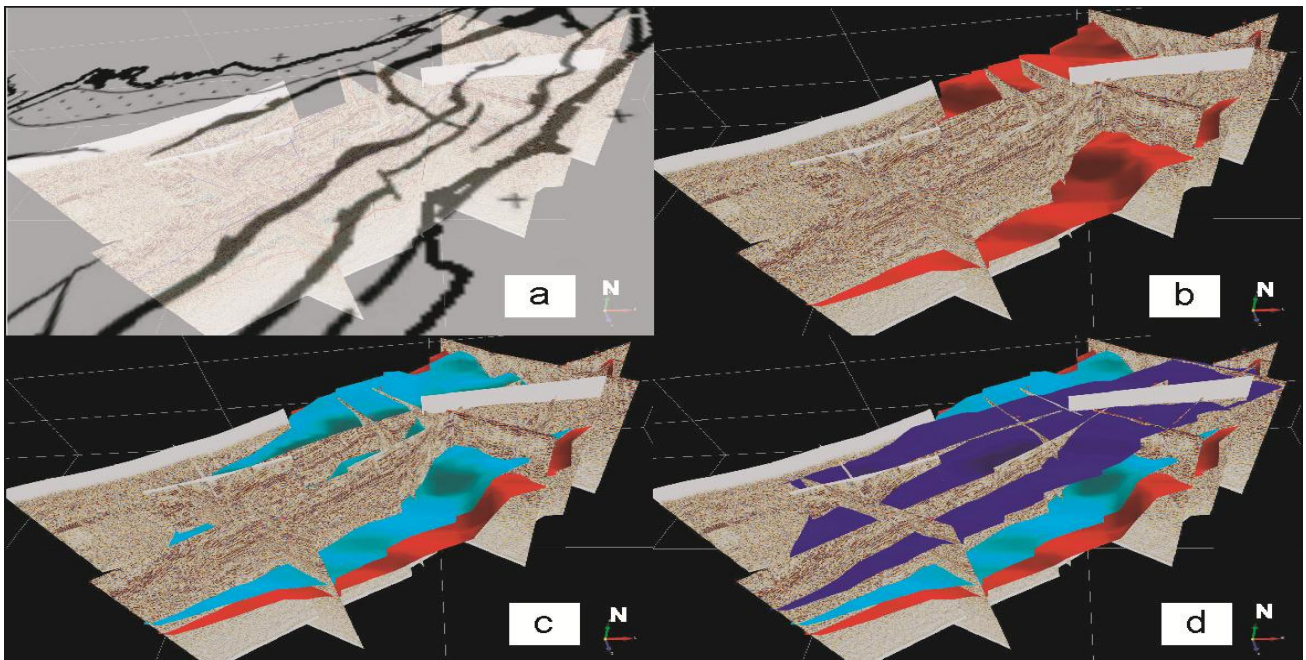


Figura 7 – Horizontes sísmicos interpretados: a) disposição das linhas em relação ao mapa estrutural; b) discordância basal (em vermelho) separando o embasamento cristalino dos depósitos sedimentares da bacia; c) SIDR (em azul claro); SMR (em azul escuro).

Esta superfície é marcada pela intensa transgressão dos sistemas lacustres (superfície de inundação) representada por terminações em *onlap* sobre um refletor de amplitude alta e boa continuidade lateral, que marca um contraste litológico entre depósitos flúvio-deltaico-eólicos e lacustres profundo (figura 8.c) Outro critério para marcar a SIDR seria a mudança das fácies FS2 (figura 9) para uma fácies caótica sem continuidade e de baixa amplitude (FS3.a, figura 9). Um leve padrão divergente geral é visível nos depósitos relacionados ao TTDR. Outras configurações também são mapeáveis, tais como a transgressão dos refletores caóticos associados ao lago profundo, incluindo a presença de configurações em *mounds* (FS3.b, figura 9) representando os fluxos de massa (*slides*, *slumps*, turbiditos). Outra facie característica (FS3.c, figura 9) contém refletores contínuos de alta amplitude, que podem ser relacionados a sistemas distais da margem do lago intercalado ao lacustre mais profundo. A FS6 (figura 9) com refletores caóticos, descontínuos e de amplitude variável já está presente neste trato representado os sistemas de leque da borda falhada (figura 8.g)

A SMR representa a passagem do TTDR para o TTFR e é marcada por terminações em *downlap* na margem flexural com discretas sigmóides representando a mudança para um regime progradação. Na parte central, concomitantemente às progradações na margem flexural, ainda há agradação dos sistemas lacustres, portanto a SMR é marcada quando nota-se a redução da influência das fácies caóticas (figura 8.d).

Os pacotes envolvidos no preenchimento do TTFR são representados por refletores sub-paralelos com boa continuidade e amplitude alta a média em boa parte da calha (FS4 e FS5, figura 9), com constante presença de *downlaps*. Logo após a SMR, nota-se a redução dos refletores caóticos de lago profundo devido à intensa progradação de sistemas flúvio-deltaicos. Também logo após a SMR, na margem falhada há avanço da FS6 (figura 9) para dentro da bacia, com posterior retrogradação à medida em que se aplaina o relevo (figura 8.g) Outra expressão característica são os cortes de canais nas porções mais superiores da calha (figura 8.f). Todas as superfícies acima discutidas são truncadas pela DPR na margem flexural (figura 8.e).

De maneira geral, todas as seções sísmicas apresentam falhamentos normais (em sua grande maioria sintéticos) que dividem os sistemas em meio-grabens, grabens e horsts. Essas falhas obviamente cortam os depósitos pré-rifte, o TTIR e boa parte do TTDR, como era esperado, já que a configuração estrutural principal da bacia é gerada durante o TTDR.

Conclusões

A análise sísmica, devidamente correlacionada com os perfis geofísicos, garantiu bons resultados no mapeamento de fácies, das configurações internas e externas e terminações dos refletores sísmicos relacionados aos sistemas deposicionais, assim como das estruturas presentes no rifte.

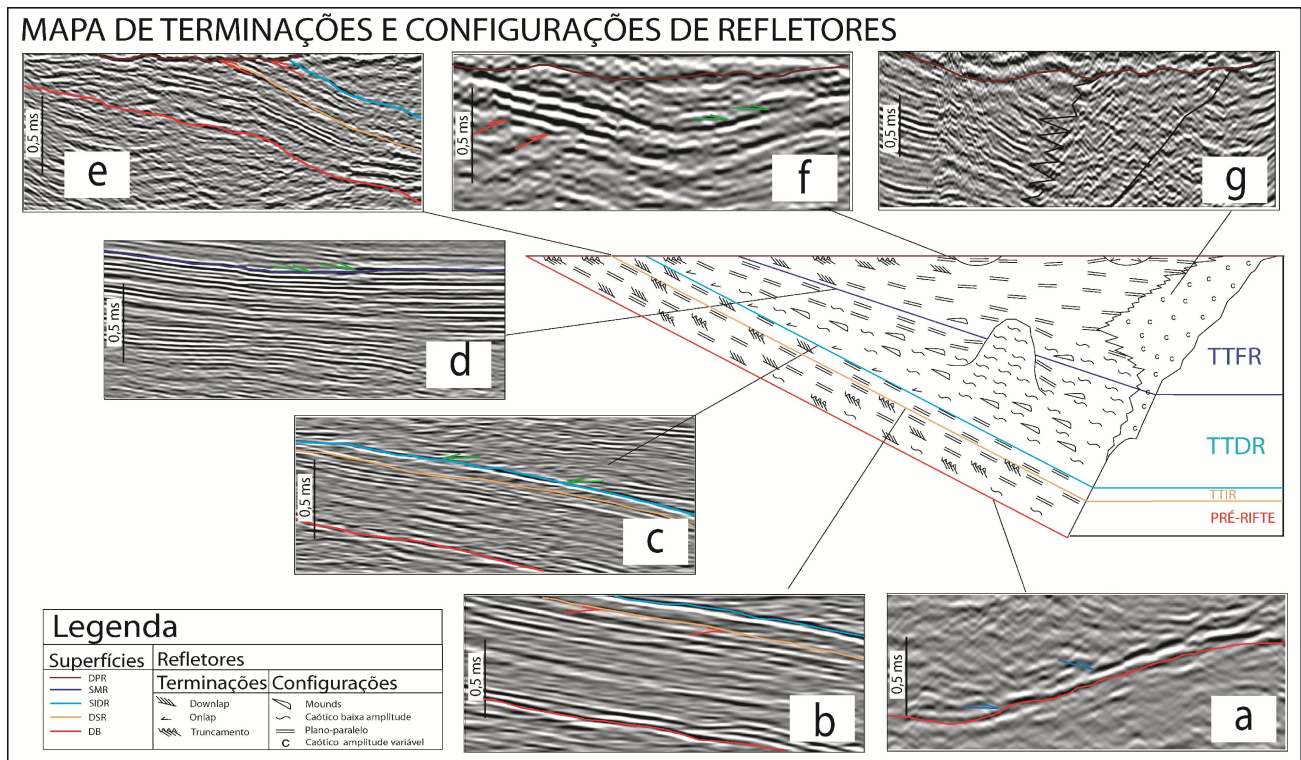


Figura 8 – Mapa de terminações e configurações de refletores. Setas em azul (*downlaps*), em verde (*onlaps*) e em vermelho (*truncamentos erosivos*).

Diversos eventos deposicionais e erosivos foram observados e devidamente mapeados e explicados com base no modelo proposto.

A bacia pode ser compartimentada através de superfícies estratigráficas em Tratos Tectônicos com características que foram confirmadas em análise prática.

Por fim, a análise completa dos dados, tendo como base conceitual a estratigrafia de seqüências aplicada a bacias rifte, possibilitou a construção de um arcabouço estratigráfico diferenciado para a área de estudos. A compartimentação em Tratos Tectônicos ajudou a entender o preenchimento sedimentar da área através de uma estreita relação temporal com a atividade tectônica e as demais variáveis no controle da sedimentação.

Agradecimentos

A todos do GETA pela orientação e apoio. A Agência Nacional do Petróleo e a GEOPARK pelos dados e

projetos. Ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da UFBA pela estrutura.

Referências

Kuchle, J. & Scherer, C. M. S. 2010. Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v.18, n. 2, p. 179-206, maio/nov.

Prosser, S. 1993. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. From Williams G. D. and Dobb, A. (eds), Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy. Geological Society Special Publication n. 71, p. 35-66.

Trocçoli, E.B. 2013. Estratigrafia de Sequências em Bacias Rifte. Aplicação na Região Nordeste da Bacia do Recôncavo (Campo de Quiambina). Trabalho de Graduação, Universidade Federal da Bahia, Bahia.

ESTRATIGRAFIA	FÁCIES SÍSMICAS				
	DESCRIÇÃO	CONFIGURAÇÃO DOS REFLETORES	INTERPRETAÇÃO	ILUSTRAÇÃO	
TTDR	FS6	amplitude alta a média, continuidade baixa e frequência média	caótico	leques-deltaicos	
	FS5	amplitude alta a média, continuidade alta e frequência média	sub-paralelo	arenitos e lamitos sistema fluvial	
	FS4	amplitude alta a média, continuidade média e frequência média	sub-paralelo	arenitos e lamitos Intercalações entre sistemas deltaicos e lacustres	
	FS3.c	amplitude média a alta, continuidade boa e frequência alta	plano-paralelos	folhelhos e siltitos lacustres com intercalações de areias distais	
	FS3.b	amplitude média a alta, continuidade ruim e frequência baixa	mounds	arenitos lamosos fluxos de massa (slides, slumps, turbiditos)	
	FS3.a	amplitude baixa, continuidade ruim e frequência média	caótico, cliniformas hummocky	lamitos sistema lacustre profundo, altamente deformado	
TTIR	FS2	amplitude, continuidade e frequência média	plano-paralelo	arenitos e lamitos agradação de sistemas fluviais, eólicos e lacustres	
	FS1	amplitude baixa, continuidade ruim e frequência baixa	sub-paralelo	arenitos e lamitos sistema lacustre	

Figura 9 - Tabela de fácies sísmicas relacionando a estratigrafia da bacia, configurações de refletores, ambientes deposicionais e possíveis litologias.