



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

SISMOESTRATIGRAFIA E MODELAGEM
GRAVIMÉTRICA DO SETOR CENTRO-SUL
DA BACIA DO RECÔNCAVO, BAHIA

DANIEL WALTER DA SILVA MASCARENHAS

SALVADOR – BAHIA
FEVEREIRO - 2018

**Sismoestratigrafia e modelagem gravimétrica do setor centro-sul da Bacia do
Recôncavo, Bahia**

por

DANIEL WALTER DA SILVA MASCARENHAS

Orientador: Michael Holz

Co-orientador: Florivaldo Oliveira Sena

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA
DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

COMISSÃO EXAMINADORA

_____ Dr. Amin Bassrei

_____ Geol. Marco César Schinelli

_____ Msc. Mariana Lídia Nicácio Oliveira Souza Schibelsky

DATA DA APROVAÇÃO: 16/02/2018

Palavras são importantes. Saiba de quem escutar, fale, tente, erre, aprenda, repita com os devidos ajustes, reconheça.

Resumo

Objetivando um conhecimento da porção centro-sul da Bacia do Recôncavo, este trabalho tem como busca a aplicação conjunta de métodos potenciais (gravimetria) e sísmica de reflexão.

Quando aplicada a metodologia de trabalho da interpretação sismoestratigráfica numa bacia do tipo rifte, a identificação do refletor associado ao contraste pré-rifte e embasamento e o reconhecimento de falhas de pequeno rejeito são atividades complicadas (essa última pois levaria a uma descontinuidade que pode não ser percebida nas seções sísmicas). A utilização dos métodos potenciais foi pensada para retirar dúvidas quanto a profundidade do embasamento e, assim, a identificação nas seções sísmicas do refletor a ele associado. O método gravimétrico responde a variações laterais na densidade das litologias em subsuperfície e, como o ambiente no contexto do Pré-Rifte e no de rifte é siliciclástico, haverá um contraste entre estes e o embasamento cristalino.

Com a intenção de reduzir a ambiguidade no momento da interpretação sismoestratigráfica, a inversão dos dados gravimétricos sobre o embasamento foi pensada como a primeira etapa do trabalho. Na região de estudo estão disponíveis dados também de vinte poços, oito seções sísmicas *dip* e oito seções sísmicas *strike*, onde, serão interpretados, os poços e as seções sísmicas, em busca das Superfícies de Máximo Rifteamento, das Superfícies de Início de Desenvolvimento de Rifte e discordâncias. Além da construção de seções que apresentem a profundidade do embasamento, faz parte desse trabalho a confecção de seções gravimétricas apresentando a megassequência Pré-Rifte, as sequências internas da Fase Rifte, escorregamentos de massa e a megassequência Pós-Rifte.

Abstract

Aiming the knowledge of southern and central portion of Recôncavo Basin, this work seeks a joint application of potential (gravimetry) and reflection seismic method.

When applied the seismic stratigraphy work methodology in a rift basin, it's complicated to recognize the reflector that refers to pre-rift and basement contract. The use of potentials methods it was thought to eliminate doubts about basement depth and to do gravimetric analysis about the rifting phase.

The gravimetric method is a geophysical method for determining density anomalies in the subsoil and, how the materials in the pre-rift and rift context it's siliciclastic, it will exist a contrast between them and the crystalline basement.

Intending to reduce the ambiguity in the seismic interpretation, determining the sediment–basement interface was thought to be the first step; after that, the gravimetric section was completed by putting seismic sections informations. In the area, there are twenty well profiles, eight dip seismic sections and eight strike seismic sections, where, it will be interpreted looking for tectonic tracts and unconformities.

Sumário

Resumo	3
Abstract	4
Introdução	11
1 Apresentação do Trabalho	12
1.1 Objetivo	12
1.2 Metodologia	12
2 Área de Trabalho - Bacia do Recôncavo	13
2.1 Área de estudo e limites da Bacia do Recôncavo	13
2.2 Bacia do Recôncavo	14
2.2.1 Evolução Tectono-sedimentar	14
3 Fundamentação Teórica	17
3.1 Estratigrafia de Sequências para bacia do tipo rifte	17
3.1.1 Sistemas Depositionais relacionados às bacias rifte	18
3.1.2 Concepções dos Modelos de Prosser e Gawthorpe & Leeder	18
3.1.3 Modelo Utilizado	20
3.2 Interpretação Sismoestratigráfica	21
3.2.1 Aplicação da sismoestratigrafia numa bacia do tipo rifte	23
3.3 Atributos Sísmicos	24
3.3.1 Transformada de Hilbert	24
3.3.2 Atributo de Fase Instantânea	25
3.3.3 TecVA	26
3.4 Gravimetria	26
3.4.1 Correções e Anomalia Residual	28
3.4.2 O Método de Talwani	29

4	Análise dos Dados e métodos empregados	31
4.1	Procedimento Inicial	31
4.2	Procedimentos referentes ao Método Gravimétrico	32
4.2.1	Utilização da Equação de Gardner	33
4.2.2	Análise da Equação de Gardner	34
4.2.3	Construção Seções Gravimétricas	34
4.3	Procedimentos referentes ao Método Sísmico	37
5	Interpretação Sísmica	39
5.1	Interpretação Estrutural	39
5.2	Embasamento	39
5.3	Interpretação Sismoestratigráfica	40
5.3.1	Discordância Rifte-1	42
5.3.2	Discordâncias Internas à Fase Rifte	43
5.3.3	Discordância Pós-Rifte	45
6	Integração Método Sísmico e Gravimétrico	50
6.1	Inversão Gravimétrica	50
6.1.1	Seção 1: Seção Gravimétrica 1 - Linha Sísmica 3	51
6.1.2	Seção 2: Seção Gravimétrica 2 - Linha Sísmica 4	55
6.1.3	Seção 3: Seção Gravimétrica 3 - Linha Sísmica 5	58
6.2	Análise resultado de modelagem gravimétrica	61
7	Conclusões e Recomendações	62
	Agradecimentos	63
	Referências	65

Lista de Tabelas

4.1	Análise estatística feita para o Poço 7 a fim de conferir a aplicabilidade da Equação de Gardner na área de estudo.	35
4.2	Análise estatística feita para o Poço 10 a fim de conferir a aplicabilidade da Equação de Gardner na área de estudo.	35
6.1	Profundidade em metros das discordâncias interpretadas na sísmica referentes à posição de cada um dos poços da Seção 1.	51
6.2	Densidade, em g/cm^3 , obtida nos poços para o Pré Rife e para cada uma das sequências interpretadas na Seção 1.	52
6.3	Densidade, em g/cm^3 , do interpretado no poços utilizados na construção da primeira seção. Intervalo de profundidade em metros.	52
6.4	Profundidade em metros das discordâncias interpretadas na sísmica referentes à posição de cada um dos poços da Seção 2.	55
6.5	Densidade, em g/cm^3 , obtida nos poços para o Pré Rife e para cada uma das sequências interpretadas na Seção 2.	55
6.6	Densidade, em g/cm^3 , do interpretado nos poços utilizados na construção da segunda seção. Intervalo de profundidade em metros.	56
6.7	Profundidade em metros das discordâncias interpretadas na sísmica referentes à posição de cada um dos poços da Seção 3.	58
6.8	Densidade, em g/cm^3 , obtida nos poços para o Pré Rife e para cada uma das sequências interpretadas na Seção 3.	58
6.9	Densidade, em g/cm^3 , do interpretado nos poços utilizados na construção da terceira seção. Intervalo de profundidade em metros.	58

Lista de Figuras

2.1	Localização da Bacia do Recôncavo.	13
2.2	Proposta cronoestratigráfica da Bacia do Recôncavo extraída de Silva et al. (2007), com a interpretação de Vilas-Boas (2016), mostrando discordâncias encontradas, onde é possível perceber o embasamento, pré-rifte, quatro sequências rifte e o pós-rifte. Fonte: Modificado de Vilas-Boas (2016).	15
2.3	Descrição, fase tectônica sobre a qual se deu gênese e ambientes deposicionais dos grupos, formações e membros associados à Bacia do Recôncavo. Fonte: Modificado de Vilas-Boas (2016).	16
3.1	Sistemas deposicionais bacia rifte. Fonte: Holz et al. (2017).	18
3.2	Modelo estrutural evolutivo proposto por Gawthorpe e Leeder (2000), mostrando as fases de Início de Rifte (A), Interação e Conexão (B) e Fase de Continuidade (C). Fonte: Gawthorpe e Leeder (2000).	19
3.3	Modelo proposto por Holz et al. (2017) que mostra os tratos tectônicos de uma sequência da fase rifte e também uma relação entre o tempo e espaço criado. Fonte: Holz et al. (2017)	21
3.4	Padrões para terminações estratiais. Fonte: Payton (1977)	22
3.5	Configurações de Sismofácies. Fonte: Payton (1977).	23
3.6	Traço complexo e suas componentes. Fonte: Taner et al. (1979).	25
3.7	Exemplo de seção na área de estudo. A seção em amplitude; B seção em Atributo de Fase; C seção em Atributo TecVA.	27
3.8	Representação de um corpo a partir do Método de Talwani, onde se verifica o polígono que representaria uma das seções transversais a ele. Fonte: Blakely (1996).	30
4.1	Modo de apresentação do <i>database</i> no <i>Oasis</i>	32
4.2	Janelas no <i>software Oasis</i> apresentando impacto no espectro do dado devido à aplicação de cada um dos métodos de separação residual - regional.	33

4.3	Dados pós aplicação do Filtro de Butterworth, apresentando volume poços e seções presentes na área de estudo.	36
4.4	Em "A" interpreta-se uma constância nas propriedades faciológicas, como característico dos debritos, enquanto em "B", devido a variação gradual no valor de raio gama (GR), interpreta-se um gradual decréscimo na argilosidade, como característico de sucessões flúvio-deltáicas.	37
5.1	Em vermelho a Discordância Basal, que separa o pré-rifte do embasamento, onde pode-se notar clara mudança na sismofácies; notadamente, há a perda de continuidade dos refletores e também uma diminuição na intensidade do sinal sísmico.	40
5.2	Topo do embasamento, onde pode ser notada a falha principal da área a oeste.	41
5.3	Principais falhas presentes no sul da Bacia do Recôncavo e relação espacial delas com as seções sísmicas da área de estudo com destaque ao contorno da Baía de Todos os Santos e à Cidade de Salvador. Fonte: Modificado de Destro (2002).	41
5.4	Notar a oeste a área de menor espessura do Pré-Rifte relacionada à Falha Principal. Nas demais regiões da área de estudo a espessura varia entre 400 e 700 ms.	42
5.5	Sequência com espessura não superior a 400 ms, onde o depocentro está localizado ao sudoeste da área de estudo.	43
5.6	Espessura do Rifte 2 variando de 0,0039 s a 0,713 s. Os valores para espessura da área a oeste relacionados a atuação da Falha Principal e depocentro a leste da área de trabalho.	44
5.7	Espessura do Rifte 3 variando de 0,00 s a 0,481 s. Percebe-se o depocentro a nordeste da área de trabalho.	45
5.8	Seção 1, <i>dip</i> , ao sul da área de estudo. No mapa localização está localizado o contorno na Baía de Todos os Santos. A leste, pode ser vista a falha principal já descrita no tópico Interpretação Estrutural. Essa seção exemplifica a região ao sul da área de estudo e destaca a diferença na profundidade do embasamento e das sequências da Fase Rifte decorrente da Falha Principal. .	46
5.9	Seção 2, <i>dip</i> . No mapa localização está localizado o contorno na Baía de Todos os Santos. Nota-se a ausência da Discordância Pós-Rifte; como já dito, essa superfície não foi mapeada em todas as seções, estando restrita ao norte da área objetivo definida. Notar ainda a compartimentação do embasamento em três blocos.	47

-
- 5.10 Imagem indicando a profundidade, em tempo sísmico, de todas as discordâncias mapeadas, onde pode-se perceber um comportamento geral das superfícies aumentando suas profundidades de SW para NE. Ainda presente um mapa localização, destacado o contorno da Baía de Todos os Santos, com a área de estudo circundada em vermelho. 48
- 5.11 Mapa de espessura do Pré-Rifte (A), Sequência Rifte 1 (B), Sequência Rifte 2 (C) e Sequência Rifte 3 (D). O mapa localização indica, em vermelho, o polígono do mapa e, em preto, os contornos das bacias e também da Baía de Todos os Santos. De modo geral, apenas em B vê-se um padrão diferente para isópaca, com o depocentro a sudeste; para os demais, o maior espessura está localizada a oeste/nordeste. Nota-se ainda, para o Pré-Rifte, pontos localizados de maior espessura. 49
- 6.1 Seção Gravimétrica 1 com mapa localização apresentando contorno Baía de Todos os Santos. Apresentada também seção sísmica base para modelagem da Seção Gravimétrica 1. Notar o aumento da profundidade do topo do embasamento e das sequências rifte interpretadas de SW para NE. 54
- 6.2 Seção Gravimétrica 2 com mapa localização apresentando contorno Baía de Todos os Santos. Pode-se notar a correlação entre as seções sísmica e gravimétrica vide análise do depocentro, ganho de profundidade das superfícies de discordância de SW para NE e análise da espessura para o Pré-Rifte e sequências internas à Fase Rifte. 57
- 6.3 Seção Gravimétrica 3 com mapa localização apresentando contorno Baía de Todos os Santos. Valor em profundidade do embasamento, intervalo para velocidade intervalar do preenchimento siliciclástico e tempo lido na seção sísmica estão correlacionáveis, caracterizando como adequada a integração entre os métodos sísmico e gravimétrico. Verificar ainda as curvas que representam os dados calculados e os adquiridos para a Anomalia Bouguer. 60

Introdução

É fato que o método sísmico traz boas respostas sobre a geometria da subsuperfície e é fato também que a interpretação desses dados, utilizando a estratigrafia de sequências como base teórica, pode retirar dúvidas não satisfatoriamente sanadas quando utilizados outros métodos geofísicos.

Problemas que podem surgir na interpretação de seções sísmicas vêm da resolução do método sísmico e da profundidade de investigação (sabe-se que a taxa de penetração da onda acústica de baixa frequência é superior às de altas frequências).

Considerando que as linhas sísmicas utilizadas nesse trabalho foram recebidas todas já processadas e a atividade de processamento varia com a profundidade de interesse com que processa os dados, identificar o topo do embasamento, Discordância Basal, se complica devido a não necessidade de destaque da faixa de profundidade esperada para este.

Este trabalho foi pensado dentro do Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicada (GETA-UFBa) e visa aplicar métodos potenciais, mais precisamente a gravimetria, para identificar refletor associado ao contraste de impedância acústica entre o estágio Pré-Rifte e o embasamento. Depois de feito esse trabalho, o fluxograma será o de interpretar as seções sísmicas e os poços para, posteriormente, dar um ganho de resolução às seções gravimétricas a partir da inserção das Sequências Rifte interpretadas na sísmica e também dos depósitos de debritos e flúvio-deltáicos interpretados nos poços.

Seguindo o esperado para geometria de uma bacia do tipo rifte, foram interpretadas nas seções sísmicas as sequências da Fase Rifte, a megassequência Pré-Rifte e também o embasamento, usando o software *IHS Kingdom*; os poços foram interpretados por mudanças na assinatura nas curvas, com a *Gamma Ray* (GR) sendo notadamente importante; e os dados referentes a gravimetria foram trabalhados usando o software *Oasis Montaj* da *Geosoft*.

Capítulo 1

Apresentação do Trabalho

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como finalidade principal a aplicação do método gravimétrico juntamente à interpretação sismoestratigráfica. Esse objetivo foi definido durante o desenvolvimento do trabalho, onde foi verificado ser possível a inserção das sequências deposicionais interpretadas na sísmica e também das sucessões flúvio-deltáicas e depósitos de debritos interpretados nos poços. A base principal dessa integração é a confecção de seções gravimétricas, ao passo que se verifica as sismofácies nas seções sísmicas.

1.2 Metodologia

Considerando as etapas para cada um dos métodos, a metodologia final pode ser descrita como: o carregamento dos dados gravimétricos e o controle de qualidade destes; interpretação das seções sísmicas em paralelo à inversão gravimétrica; confecção dos mapas finais; e avaliação da integração dos métodos. A revisão bibliográfica foi feita a todo o tempo, não constituindo para ela um início e fim.

Capítulo 2

Área de Trabalho - Bacia do Recôncavo

2.1 Área de estudo e limites da Bacia do Recôncavo

A região de estudo se encontra na Bacia do Recôncavo (Figura 2.1) e é limitada, em coordenadas UTM (Sistema WGS84 ou World Geodetic System), a leste por 537100 m, a oeste por 562100 m, a sul por 8596900 m e a norte por 8617900 m na Zona 24S. A Bacia do Recôncavo está dentro do contexto das bacias sedimentares do tipo rifte presentes na costa leste brasileira. Esta bacia possui área de aproximadamente 12.028 km², tem direção NE-SW e é limitada ao norte pelo Alto de Aporá e pela Bacia do Tucano Sul, a sul pelo Sistemas de Falhas da Barra e pela Bacia de Camamu, a oeste pela Falha de Maragogipe e a leste pelo Sistema de Falhas de Salvador.



Figura 2.1: Localização da Bacia do Recôncavo.

2.2 Bacia do Recôncavo

A Bacia do Recôncavo forma a parte sul do sistema de Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá. A evolução desse rifte, que chega a 400 km de extensão e 100 km de largura, gerou, no Cretáceo Superior, as bacias brasileiras de margem leste.

É notado no Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá a inversão na assimetria dos semi-grábens (Destro, 2002), onde ocorre uma alternância das falhas de borda entre o leste e oeste. No caso da Bacia do Recôncavo, o semi-gráben mergulha para SE e tem direção NE-SW.

2.2.1 Evolução Tectono-sedimentar

Seguindo a interpretação estratigráfica proposta por Silva et al. (2007) (Figura 2.2), a Bacia do Recôncavo possui sequências relacionadas à Fase Rifte, tendo passado pelas Fases Sinéclise e Pré-rifte e, posterior a essas todas, a Fase Pós-rifte. O embasamento da bacia é descrito, ao norte, como rochas metassedimentares do Grupo Estância desenvolvidas na borda nordeste do Cráton de São Francisco; ainda ao norte e também ao oeste, o embasamento é representado por gnaisses granulíticos que pertencem ao Bloco Serrinha; a oeste-sudoeste, o embasamento é representado pelo cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá; e a leste-nordeste, pelo cinturão Salvador-Esplanada.

O preenchimento sedimentar tem deposição relacionada ao evento extensional do jurocretácio que definiu cinco sequências (Silva et al., 2007) distribuídas nas três fases já citadas (Pré-Rifte, Rifte e Pós-Rifte), com espessura total chegando a 6500 metros.

O estágio Pré-Rifte é representado pelas Formações Aliança (Membro Boipeba), Sergi e Água Grande, todas essas com características faciológicas de ambiente flúvio-eólicos, mas separadas por transgressões lacustres da Formação Aliança (Membro Capianga) e da Formação Itaparica. Esses depósitos estão relacionados a fase inicial de flexura da crosta que ocorreram devido a esforços distensionais.

Embora todas essas formações citadas tenham sido definidas por Silva et al. (2007) como sendo as decorrentes da resposta aos processos iniciais da distensões, a Formação Sergi, unidade de extensão considerável depositada na depressão afro-brasileira (Adegas et al., 2012), foi a definida neste trabalho como topo do estágio Pré-Rifte, portanto, todas unidades posteriores a essa já são tratadas como da Fase Rifte. Além disso, outra importante observação é sobre a sinéclise, que é decorrente de quiescência tectônica e caracterizada por dimensões regionais de pacotes convergentes e de mergulhos suaves.

Segundo Silva et al. (2007), a Fase Rifte possui três sequências a ela relacionadas, porém Vilas-Boas (2016), com base na interpretação de poços e, principalmente, baseado na demarcação de discordâncias via análise de terminações estratigráficas, indica quatro sequências

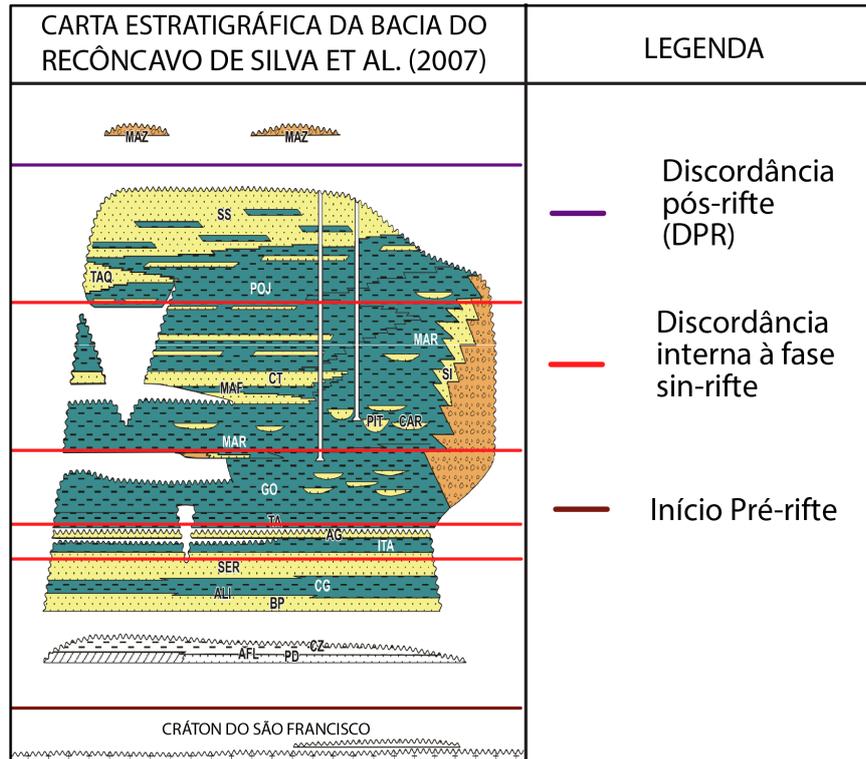


Figura 2.2: Proposta cronoestratigráfica da Bacia do Recôncavo extraída de Silva et al. (2007), com a interpretação de Vilas-Boas (2016), mostrando discordâncias encontradas, onde é possível perceber o embasamento, pré-rifte, quatro sequências rifte e o pós-rifte. Fonte: Modificado de Vilas-Boas (2016).

de terceira ordem para essa fase e destaca o caráter episódico do rifteamento.

O aumento no espaço devido a maior atividade tectônica implicou num contexto lacustre, exemplificado pelo Membro Gomo da Formação Candeias, descrito por Silva et al. (2007), tendo Vilas-Boas (2016) elaborado uma tabela em que explicita a descrição e ambientes deposicionais dos membros e formações relacionados à Bacia do Recôncavo (Figura 2.3). Ainda segundo Silva et al. (2007), a redução na atividade tectônica acabou por implicar em depósitos relacionados a fluxos gravitacionais (Membro Caruaçu e Membro Pitanga da Formação Maracangalha). A taxa de subsidência baixa pode ser vista pela sucessão de ciclos deltáicos lacustres da Formação Pojuca. Essas formações e seus membros citados corresponderiam à primeira e à segunda sequências da Fase Rifte.

Silva et al. (2007) destaca alguns pontos para as duas primeiras sequências da Fase Rifte. Em seu texto deixa claro que, para essas sequências, os depocentros tem limites dados por concordâncias relativas, que indicaria continuidade da sedimentação. Além disso, destaca que a ocorrência de argilocinese aconteceu por pressão litostática e devido a fisiografia de meio-gráben. Para terceira sequência da Fase Rifte, a última segundo esse autor, a porção

inferior registrou expansão dos sistemas deltáicos, a fisiografia da bacia teria assumido a geometria de rampa com, presente no topo da sequência, fácies fluviais; aparecem também conglomerados sintectônicos da Formação Salvador.

Para a sequência Pós-Rifte, é definido folhelhos e calcários da Formação Marizal relacionado a sistema aluvial (discordante às sequências da Fase Rifte), conglomerados e arenitos. Essa fase é caracterizada como regime de subsidência termal.

FASE TECTÔNICA	GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO	DESCRIÇÃO	AMBIENTE DEPOSICIONAL	
PÓS-RIFTE		BARREIRAS		ARENITOS MÉDIOS A GROSSOS	FLUVIAL	
		SABIÁ		FOLHELHOS CINZA-ESVERDEADOS E CALCÁRIOS IMPUROS	PLATAFORMA RASA	
		MARIZAL		CLÁSTICOS GROSSOS, FOLHELHOS E CALCÁRIOS	LEQUE ALUVIAL	
RIFTE	MASSACARA	SÃO SEBASTIÃO		ARENITOS MÉDIOS A GROSSOS	FLUVIAL	
	ILHAS	TAQUIPE		FOLHELHOS CINZAS COM LENTES DE ARENITOS FINOS E MACIÇOS	DELTÁICO	
		POJUCA		INTERCALAÇÃO DE ARENITOS FINOS A MÉDIOS COM FOLHELHOS E SILTITOS		
		MARFIM		ARENITOS LIMPOS, FINOS A MÉDIOS, COM INTERCALAÇÕES DE FOLHELHOS		
	SANTO AMARO	SALVADOR			CONGLOMERADOS E ARENITOS FINOS A GROSSOS	LEQUE ALUVIAL
		MARACANGALHA	CARUAÇU		FOLHELHOS ESCUROS ASSOCIADOS A ARENITOS MUITO FINOS	LACUSTRE
			PITANGA		FOLHELHOS ESCUROS COM LENTES DE ARENITOS FINOS A MÉDIOS	
		CANDEIAS	GOMO		FOLHELHOS CINZA-ESVERDEADOS RICOS EM MATÉRIA ORGÂNICA	
			TAUÁ		FOLHELHOS ESCUROS E FÍSSEIS	
	PRÉ-RIFTE		ÁGUA GRANDE		ARENITOS GROSSOS A FINOS	
ITAPARICA			FOLHELHOS E SILTITOS COM RARAS INTERCALAÇÕES DE ARENITOS FINOS		LACUSTRE/FLUVIAL	
SERGI					ARENITOS FINOS A CONGLOMERÁTICOS COM INTERCALAÇÕES DE FOLHELHOS VERMELHOS	FLÚVIO-EÓLICO
SINÉCLISE		AFLIGIDOS	CAZUMBA	SILTITOS, FOLHELHOS E CALCÁRIOS	LACUSTRE SABKHA CONTINENTAL	
			PEDRÃO	ARENITOS FINOS INTERCALADOS COM FINAS CAMADAS DE LAMITOS	ESTUÁRIO	
			EMBASAMENTO		GNAISSES GRANULÍTICOS	

Figura 2.3: Descrição, fase tectônica sobre a qual se deu gênese e ambientes deposicionais dos grupos, formações e membros associados à Bacia do Recôncavo. Fonte: Modificado de Vilas-Boas (2016).

Capítulo 3

Fundamentação Teórica

3.1 Estratigrafia de Sequências para bacia do tipo rifte

Tendo como base a análise geométrica das sequências deposicionais e também a relação entre fácies, a estratigrafia de sequências tem como fator comum, quando pensada na sua utilização para os mais diferentes contextos geológicos, a busca de superfícies estratigráficas e/ou superfícies erosivas. Holz (2012) fala que esse conceito pode ser utilizado para diferentes tipos de dados, notadamente, perfis de poços e seções sísmicas.

Objetivando uma simplificação do entendimento dos processos e considerando como os dois principais fatores de análise na estratigrafia de sequências o espaço e o aporte sedimentar, consideremos esse último citado como constante; já o espaço é controlado pelo nível de base que, relacionado às bacias do tipo rifte, é decorrente da profundidade dos lagos.

Passando o foco para bacias rifte continentais, o nível de profundidade dos lagos, e, conseqüentemente, o nível de base, é controlado pela tectônica distensiva inerente ao rifteamento e, da fisiografia dos blocos, acabaria por culminar sistemas fluviais, costeiros e lacustres (Holz, 2012).

Controlada por uma falha de borda, a subsidência dos meio-grabens ocorre a diferentes taxas em locais próximos entre si. Esse fato implica na também proximidade dos conjuntos de sistemas deposicionais relacionados aos tratos de sistemas geométricos específicos, o que dificulta a interpretação devido ao não desenvolvimento previsível destes durante um ciclo completo de mudança no nível de base.

Na evolução do pensamento, alguns autores deram contribuições; a saber, Bosence (1998), Morley (2003), Martins-Neto & Catuneanu (2010) *apud*. Küchle (2010), Küchle e Scherer (2010), Prosser (1993) e Gawthorpe e Leeder (2000). Para esse trabalho o modelo utilizado será o de Holz et al. (2017), que traz parte do observado por Prosser (1993) e por Gawthorpe e Leeder (2000).

3.1.1 Sistemas Depositionais relacionados às bacias rifte

Dentro da fisiografia de uma bacia do tipo rifte, no *hangingwall*, podem se desenvolver sistemas fluviais que gradam para transicionais (deltas, por exemplo); no *footwall* tende a se desenvolver, junto a margem falhada, leques aluviais relacionados a fluxos mais canalizados (Holz, 2012) (Figura 3.1). Além desses sistemas, sedimentos lamosos ocorrem nas regiões de menor energia, comumente as mais profundas, e, eventualmente, há correntes de turbidez, dando como consequência turbiditos nas margens dos lagos; há também escorregamentos de solo e fragmentos de rocha saturados em água que dão, como consequência, debritos.

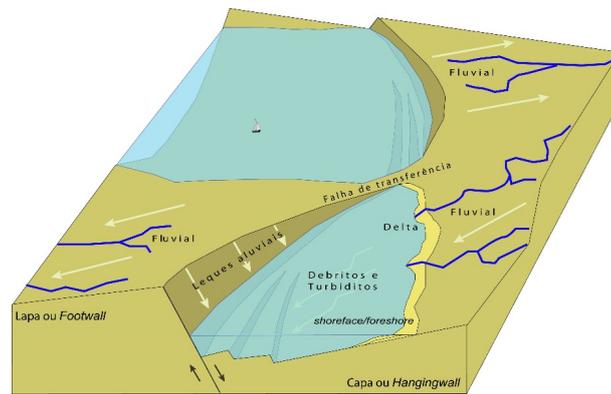


Figura 3.1: Sistemas deposicionais bacia rifte. Fonte: Holz et al. (2017).

3.1.2 Concepções dos Modelos de Prosser e Gawthorpe & Leeder

Como já dito, a linha de base no contexto de bacia rifte é controlado pelo nível dos lagos, ou seja, não dependente das variações eustáticas (Prosser, 1993). Outras contribuições dadas por Prosser (1993) foram a análise dos tratos de sistemas tectônicos com base nos padrões de empilhamento e a subdivisão da sequência em três tratos distintos.

No Trato de Sistemas de Início de Rifte a geração de espaço acontece numa baixa taxa; são gerados os primeiros meio-grábens; acontecem as primeiras rotações de blocos; ocorrem sistemas gravitacionais relacionados a falha de borda e também sistemas fluviais; e, por apresentar taxa de criação de espaço não suficiente para comportar o aporte sedimentar, tem-se um padrão deposicional progradacional.

Passando para o Trato de Sistemas de Clímax de Rifte, a taxa de geração de espaço chega a seus maiores valores, conseqüentemente, o padrão deposicional é retrogradacional. É considerado que os depósitos flúvio-deltáicos são bastante reduzidos, isso porque, atrelada a alta geração de espaço, se tem uma constante modificação das linhas de drenagem (o que vem a complicar a chegada desses sedimentos a nível de notável reconhecimento).

Uma falta no modelo de Prosser (1993), que a diferencia do modelo proposto por Holz et al. (2017), é que se considera ao final um Trato de Sistemas Tectônico de Pós Rifte como tudo o que foi depositado após cessada a fase de mais intensa atividade tectônica, mesmo o espaço tendo sido gerado no contexto do rifte. Holz et al. (2017) entende que há ainda um último trato associado à Fase Rifte. Prosser (1993) descreve esse último trato como passando por uma diminuição da atividade tectônica, conseqüentemente, a taxa de criação de espaço é menor; isso implica na volta de um padrão progradacional e na chegada de sedimentos de regime fluvial. Ainda relacionada a última fase desse modelo, tem-se o controle termal da subsidência, e não mais exercido pelos falhamentos.

Seguindo o modelo de Gawthorpe e Leeder (2000), existiriam quatro fases na fase rifte: *rift initiation* (Início de Rifte), *interaction* (Fase de Interação), *through-going* (Fase de Continuidade) e *fault death* (Estagnação do Falhamento) (Figura 3.2).

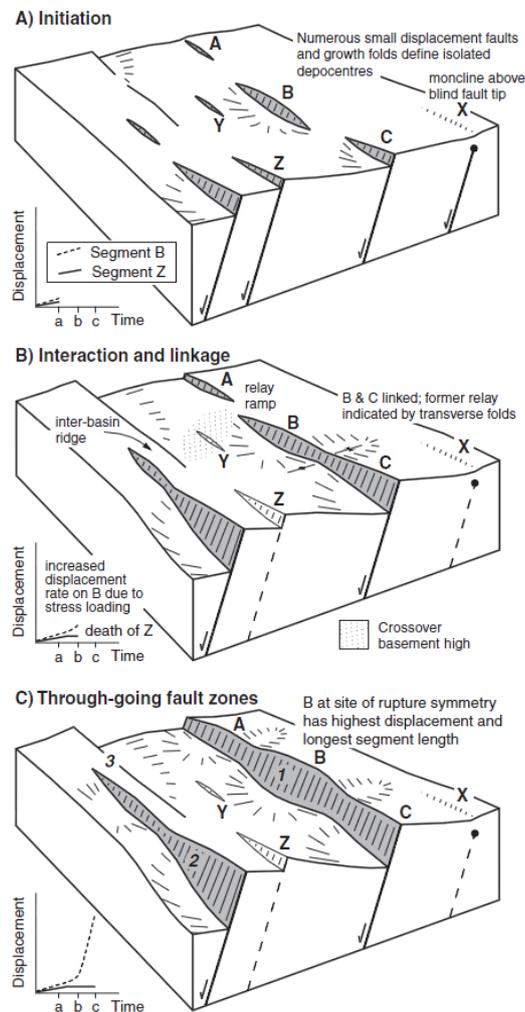


Figura 3.2: Modelo estrutural evolutivo proposto por Gawthorpe e Leeder (2000), mostrando as fases de Início de Rifte (A), Interação e Conexão (B) e Fase de Continuidade (C). Fonte: Gawthorpe e Leeder (2000).

Na fase de Início de Rifte ocorrem bacias localizadas com falhas de borda com direções próximas umas das outras e com a drenagem controlando o preenchimento; não implica em grande mudança na topografia, dado o rejeito de pouca expressão. Passando à Fase de Interação, começa a interconexão entre as falhas e o desenvolvimento dos sistemas lacustrinos, onde acabam por se estagnar os falhamentos não conectados; a ampliação dos rejeitos, dando como consequência a fisiografia característica, começa a reduzir ainda na Fase de Continuidade, onde há a formação de meio-grábens significativos, quanto a extensão e depocentro. Na fase de Estagnação de Falhamento a atividade tectônica cessaria e a drenagem iria passar por mudanças, gerando a erosão e preenchimento dos meio-grábens.

3.1.3 Modelo Utilizado

Neste trabalho o modelo utilizado para entendimento da evolução de bacias rifte será o de Holz et al. (2017) (Figura 3.3). Nele podemos perceber ideias vistas no modelo de Prosser (1993) e no de Gawthorpe e Leeder (2000), mas, o que foi definido por Prosser (1993) como pós-rifte, Holz et al. (2017) entendem como de final de rifte. Há problemas práticos decorrentes da complicada aplicabilidade no modelo de Gawthorpe e Leeder (2000) devido ao foco da descrição em questões estruturais e pouco nas terminações estratigráficas (uma das bases da interpretação sismoestratigráfica).

Seguindo o modelo, o primeiro momento seria de incipiente geração de espaço. Considerando o aporte constante, a sucessão sedimentar teria um padrão progradacional exemplificado por fácies flúvio-deltáicas. Essas características definem o Trato Tectônico de Início de Rifte, presente na primeira sequência da Fase Rifte, delimitada na base pela Discordância Rifte-1 e separado do trato seguinte pela Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte. Nesse primeiro trato há a existência de meio-grábens localizados, não, estando, portanto, bem desenvolvidos no que diz respeito às dimensões.

O trato seguinte, Trato Tectônico de Desenvolvimento de Rifte, é caracterizado pelo aumento substancial da geração de espaço devido a conexão entre as falhas iniciais. O aumento do espaço disponível faz com que a taxa de chegada de sedimentos seja menor que a taxa de criação de espaço, o que produz como consequência um padrão retrogradacional e com fácies lacustres. Além da fácies lacustre, ocorre também a chegada de depósitos de fluxo gravitacional e, ainda, há aumento da subsidência e formação da topografia típica de riftes. A Superfície de Máximo Rifting separa o Trato de Desenvolvimento de Rifte do Trato de Final de Rifte.

Na fase final, a que define o Trato Tectônico de Final de Rifte, a taxa de geração de espaço diminui e, conseqüentemente, o padrão volta a ser progradacional, voltando também as fácies flúvio-deltáica, além da fácies eólica. Esse trato define o fim de uma sequência e é

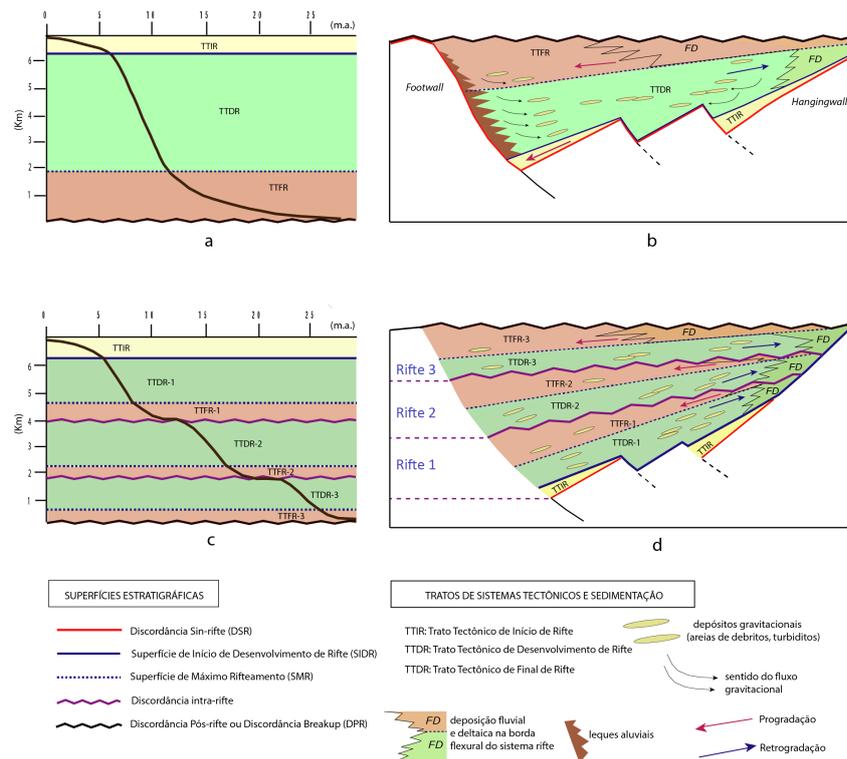


Figura 3.3: Modelo proposto por Holz et al. (2017) que mostra os tratos tectônicos de uma sequência da fase rift e também uma relação entre o tempo e espaço criado. Fonte: Holz et al. (2017)

limitado por uma discordância. Considerando pulso tectônico gerando apenas uma sequência rift, a discordância que define o topo deste trato seria a Discordância Pós-Rifte; caso acima dessa sequência se encontre outra sequência ainda na Fase Rift, essa discordância seria uma discordância interna à Fase Rift.

3.2 Interpretação Sismoestratigráfica

A interpretação sismoestratigráfica é entendida como a utilização da sismoestratigrafia para identificação das superfícies estratigráficas internas a cada uma das sequências deposicionais, além da demarcação das discordâncias que separa essas sequências. Como descrito por Cruz (2008), a sismoestratigrafia se trata de uma ferramenta de interpretação, onde se busca definir sequências deposicionais, sistemas deposicionais e associação de fácies, partindo de seções sísmicas.

O reconhecimento das superfícies que fazem parte do modelo utilizado neste trabalho na sísmica é feito com base nas terminações estratigráficas. Foi buscado nas seções sísmicas

padrões dessas terminações para que se tivesse um apoio teórico necessário para a indicação de determinado refletor como sendo uma das superfícies do modelo proposto por Holz et al. (2017).

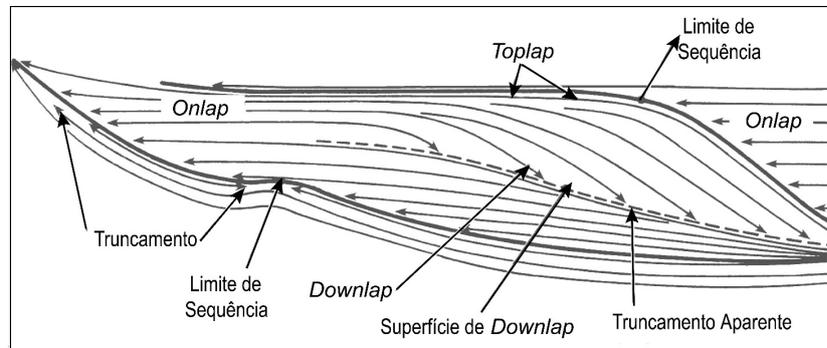


Figura 3.4: Padrões para terminações estratigráficas. Fonte: Payton (1977)

Terminações estratigráficas foram definidas por Catuneanu (2006) como a relação geométrica entre as superfícies estratigráficas e outra superfície na qual ela termine. Seguindo o modelo adotado no presente trabalho, deve-se reconhecer Superfícies de Máximo Rifteamento (SMR), Superfícies de Início de Desenvolvimento de Rifte (SIDR) e discordâncias; portanto, o objetivo da interpretação sísmoestratigráfica é reconhecer as terminações a fim de chegar às superfícies que limitam os Tratos Tectônicos e às discordâncias.

Dentre as terminações mais comuns na interpretação sísmoestratigráfica tem-se os truncamentos, *offlaps*, *toplaps*, *onlaps* e *downlaps* (Figura 3.4). Essas deverão ser notadas nas seções sísmicas, a fim de classificar determinado refletor como sendo uma SMR, SIDR ou Superfície de Discordância.

Truncamentos são terminações estratigráficas relacionadas à superfície erosiva. Por ter essa característica de superfície erosiva, os truncamentos produzem como consequência ângulos não similares entre diferentes pares de refletores que terminam um no outro; desta forma, este deve ser o padrão buscado. Truncamentos indicam discordâncias, ou seja, tornam possível separar as fases Pré-Rifte e Sin-Rifte, além de reconhecer as diferentes sequências da Fase Rifte.

Toplap é definida como terminação estratigráfica onde um refletor possui ângulo menor que um outro refletor sobre o qual termina. O oposto é visto na terminação *downlap*, onde refletores possuem ângulo notadamente maior que a superfície sobre a qual termina; essa última configuração, *downlap*, indica progradações.

Por fim, a terminação em *onlap* é verificada quando refletor termina sobre superfície deposicional com ângulo menor (padrão aproximadamente paralelo terminando sobre refletor inclinado). Essa configuração pode indicar subida do nível de base.

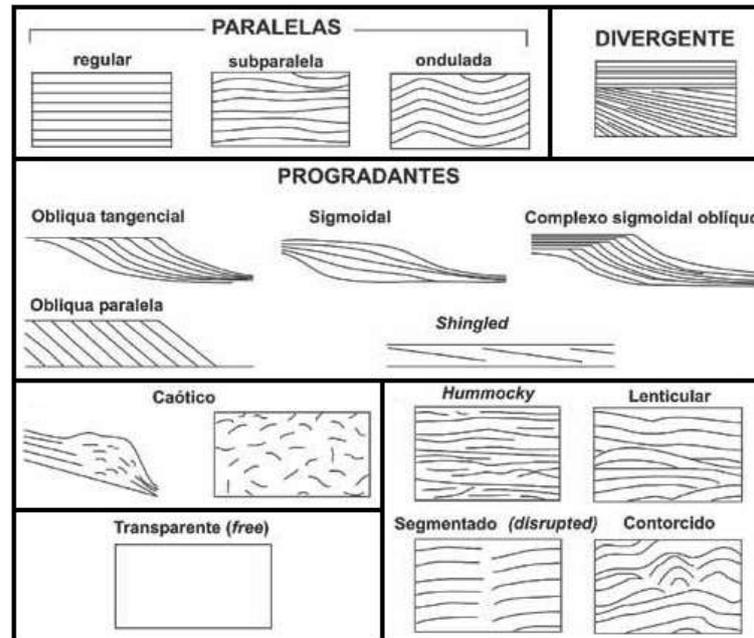


Figura 3.5: Configurações de Sismofácies. Fonte: Payton (1977).

Vale notar que, como a interpretação sismoestratigráfica se fundamenta na relação geométrica entre diferentes refletores, caso a região de estudo esteja relacionada a intensa atividade tectônica, o intérprete pode cair em erro na classificação; isso pode ser exemplificado ao tratar como *onlap* uma *downlap* rotacionada.

Além de marcadas as terminações estratais, foram buscados nas seções diferentes padrões de fácies sísmicas, ou sismofácies. Essas se referem a agrupamentos de refletores com base em parâmetros como amplitude, continuidade e frequência dos refletores. A Figura 3.5 mostra sismofácies que podem ser verificadas em seções sísmicas.

As diferenças nas configurações de sismofácies podem nos fazer inferir diferentes ambientes deposicionais, embora não ocorra uma bijeção entre fácies sísmicas e ambientes de deposição.

3.2.1 Aplicação da sismoestratigrafia numa bacia do tipo rifte

A partir da análise do modelo teórico que será utilizado nesse trabalho, deve-se definir terminações estratais características para as superfícies de discordâncias e também para as superfícies que limitam os tratos tectônicos. Estão entre as superfícies a serem identificadas: 1) Discordância Basal, que separa o embasamento do Pré-Rifte; 2) Discordância Sin-Rifte, que separa o Pré-Rifte da primeira sequência da Fase Rifte; 3) as discordâncias internas à fase rifte, que separa cada uma das sequências da Fase Rifte; 4) a Discordância Pós-Rifte, que separa a última sequência da Fase Rifte da megassequência Pós-Rifte; 5) as Superfícies

de Máximo Rifteamento; 6) e Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte.

As discordâncias, independentemente de qual seja entre as supracitadas, têm um padrão de reconhecimento bem claro. Discordâncias remetem a um intervalo de tempo onde a taxa de erosão é igual ou superior a taxa de deposição, portanto, o que se espera são terminações do tipo truncamento relacionadas a elas. Outros parâmetros se envolvem na determinação das discordâncias; principalmente Discordância Basal, caracterizada na sísmica por refletor de alta amplitude abaixo de refletores geralmente contínuos e acima de uma sismofácies caótica e descontínua.

A Superfície de Máximo Rifteamento, por definir topo de um trato caracterizado como de alta taxa de criação de espaço e estar sotoposta a um trato com valor baixa geração de espaço, é caracterizada por terminação em *downlap* acima dela (terminação característica de progradações). A Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte está entre trato caracterizado pela grande geração de espaço (acima) e outro com taxa de aporte superior à geração de espaço (abaixo), portanto, espera-se para ela terminação em *onlap*.

3.3 Atributos Sísmicos

Atributos sísmicos podem ser entendidos como uma medida/determinação quantitativa de um parâmetro de interesse que possa ser extraído de dado sísmico (Chopra e Marfurt (2005) e Troccoli (2015)). No caso desse trabalho, os atributos utilizados foram a fase instantânea e o pseudo *relief* ou TecVA (Técnica Volume de Amplitudes). Notadamente, como os atributos destacam algum parâmetro físico em subsuperfície, sua utilização é de grande ajuda na interpretação de dados sísmicos.

Como primeiro procedimento para cálculo dos atributos utilizados nesse trabalho está a utilização da Transformada de Hilbert, para que os dados, que se tratam originalmente de um sinal real, passem para o domínio complexo.

Por se tratar de um tratamento matemático no dado, a digitalização dos refletores classificados como alguma superfície entre as do modelo utilizado foi feita com o dado em amplitude. Esse fato, porém, não reduz a importância dos atributos de fase instantânea, extremamente útil para a marcação das terminações estratais, e nem do TECVA. O destaque dado por esse último atributo às descontinuidades dos refletores torna a interpretação estrutural menos complicada.

3.3.1 Transformada de Hilbert

A Transformada de Hilbert pode ser entendida como um operador no domínio da frequência, onde o que se faz é multiplicar o dado, pós aplicada a Transformada Direta de Fourier, por

$[i \operatorname{sgn}(S(w))]$, $i^2 = -1$, sgn sendo a função sinal de $S(w)$ e $S(w)$ sendo a Transformada Direta de Fourier da função $s(t)$, que corresponde aos dados geofísicos. Vale observar que, por ser $s(t)$ uma sequência real (aqui entende-se um conjunto de dados representados por números reais), a transformada de Fourier dela é um sinal periódico. A Figura 3.6 demonstra os domínios matemáticos envolvidos na transformada.

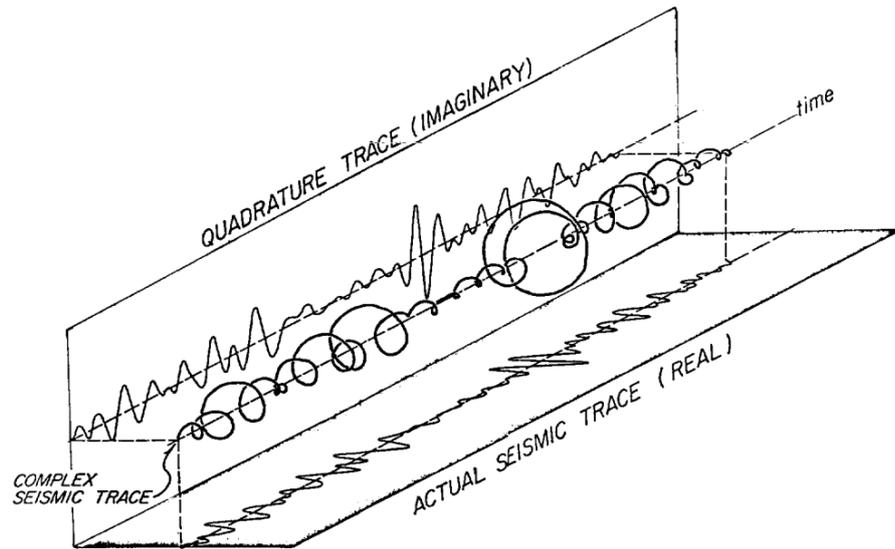


Figura 3.6: Traço complexo e suas componentes. Fonte: Taner et al. (1979).

Por se tratar de uma multiplicação no domínio da frequência pelo fator i , a Transformada de Hilbert faz uma mudança de fase do sinal em $-\pi/2$, quando a frequência w for negativa, e em $\pi/2$, quando for positiva. Espera-se também, ao aplicar a transformada por duas vezes, a multiplicação apenas pelo fator -1 como resultado numérico correspondente, ou seja, ocorreria apenas a inversão do sinal.

Segundo Todoran et al. (2008), o sinal de entrada, dado, deve ter um conteúdo espectral ocupando toda a banda de frequência ou se tratar de um sinal periódico, daí se justifica a utilização da Transformada de Fourier, que, como já dito, para uma sequência real, tem como resultado uma função periódica.

A representação do dado, pós Transformada de Hilbert, é: $S(t) = s(t) + is'(t)$, onde $s(t)$ é o dado original e $s'(t)$ a Transformada de Hilbert de $s(t)$; obviamente passados pela Transformada Inversa de Fourier (pois percebe-se que a variável de controle é o tempo (t)).

3.3.2 Atributo de Fase Instantânea

Passado o dado de volta para o domínio do tempo via Transformada Inversa de Fourier e pós utilizada a Transformada de Hilbert, obtém-se, como anteriormente apresentado, o dado

na forma $S(t) = s(t) + is'(t)$. Utilizando a Fórmula de Euler, $S(t)$ pode ser também escrita como $S(t) = A(t)e^{i\theta(t)}$. Esta última forma apresentada para representar a Transformada de Hilbert se mostra útil por explicitar um controle de amplitude, feito pelo termo $A(t)$, e um controle de fase, feito pelo termo $e^{i\theta(t)}$.

Considerando um meio que apresente variação lateral de fácies e um meio acima totalmente homogêneo, é claro que haverá mudança lateral no coeficiente de reflexão entre esses dois meios. Essa diferença na intensidade do sinal de retorno pode confundir o intérprete e, conseqüentemente, o fazer seguir um refletor diferente do que seguia primeiramente, levando-o a cometer erros na definição das superfícies do modelo e, conseqüentemente, na interpretação.

O Atributo de Fase destaca, devido a não influência do termo que traz consigo variação na amplitude, eventos anteriormente com menor coerência; esse fato auxilia a demarcação de geometrias deposicionais e, obviamente, facilita a marcação de terminações estratais.

Matematicamente, o Atributo de Fase pode ser calculado pela função arco tangente da razão entre a parte imaginária e real do dado, segundo a expressão dada por:

$$\theta(t) = \arctan[s'(t)/s(t)]. \quad (3.1)$$

3.3.3 TecVA

O Atributo TecVA se fundamenta, segundo Bulhões (2005), no Princípio da Sismocamada Elementar, que vem a ser a camada com menor espessura que pode ser determinada com a utilização do método sísmico. Obviamente, essa espessura tem como parâmetros principais a assinatura da fonte e também a velocidade intervalar da camada, porém, o autor escolheu por não descrever esse atributo matematicamente e, sim, uma apresentação mais qualitativa, fazendo uso de uma das seções de trabalho visando exemplificar o atributo (Figura 3.7).

3.4 Gravimetria

Densidade e susceptibilidade magnética são duas propriedades físicas que podem ser utilizadas quando o objetivo é a análise da profundidade do embasamento. No caso, o que será utilizado nesse trabalho será o método gravimétrico.

A aceleração gravitacional se trata de um vetor, ou seja, responde a variação na mudança da direção de coleta dos dados. No levantamento geofísico, é de costume a aquisição acontecer a despeito da componente perpendicular a superfície.

Embora o esperado e constatado seja que a contribuição dos corpos mais próximos ao ponto de leitura seja maior que a dos mais distantes, o valor obtido ponto a ponto para o

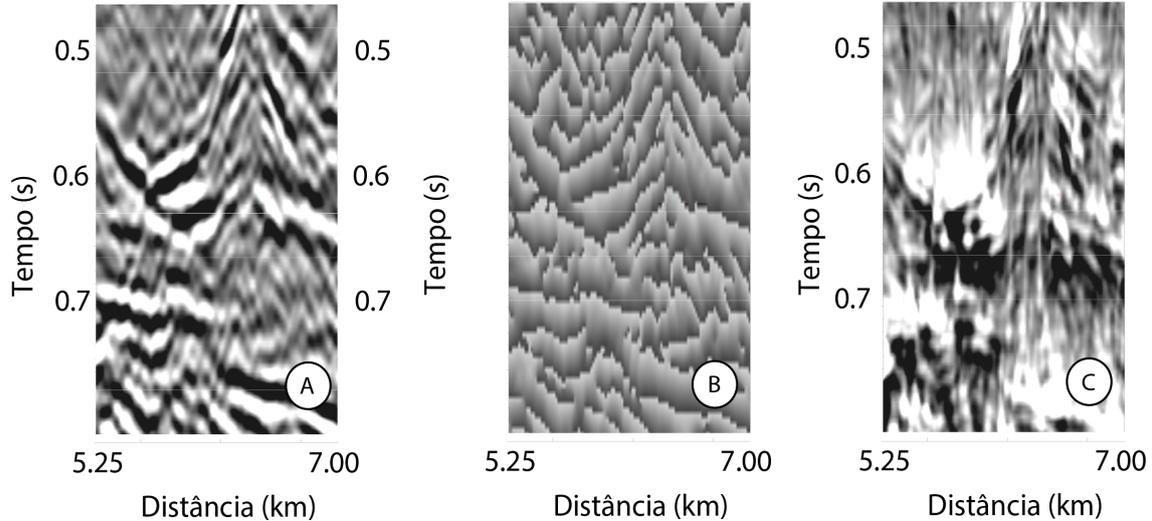


Figura 3.7: Exemplo de seção na área de estudo. A seção em amplitude; B seção em Atributo de Fase; C seção em Atributo TecVA.

módulo da aceleração da gravidade depende de todo e qualquer elemento de massa. Como a forma do planeta é aproximadamente esférica, considerando ainda regiões homogêneas concêntricas, o entendido é que toda a massa do planeta possa ser entendida como presente no seu centro, num único ponto. Para esse caso, o módulo da aceleração gravitacional, g , é dado por:

$$g = \frac{GM}{d^2}, \quad (3.2)$$

onde G é a constante gravitacional que tem valor igual a $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$, M é a massa do elemento de corpo e d é a distância do ponto de leitura até o elemento de corpo.

Como o dado coletado remete a corpos sob os quais se tem interesse e sob os quais não se tem, são feitas correções e também processamento nos dados. Da forma que o dado foi recebido, já tinham sido feitas as correções: Correção de Ar-livre, Correção Bouguer e a retirada da aceleração da gravidade total do esferóide. Essas correções feitas no dado levantado, gravidade observada/lida, dá como resultado a Anomalia Bouguer. A seguir a explicação do motivo de cada uma dessas correções. Vale observar que o dado se trata de um compilado organizado pela CPRM de levantamentos gravimétricos; maiores detalhes sobre como foi feito esse procedimento são desconhecidos pelo autor.

Quando se faz um levantamento referente ao método gravimétrico, deve se ter em mente duas grandes observações: como a atração gravitacional se trata de uma grandeza vetorial e tendo em vista as irregularidades do relevo, é intrínseco ao levantamento a influência de corpos acima do Datum; e, como o módulo desse vetor depende de, basicamente, duas variáveis (a massa do corpo que gera a atração e a distância desse corpo até o ponto de

leitura), as consequências da diferença na posição entre o ponto de leitura e o Datum escolhido deve ser pensada segundo também essas duas variáveis. Além disso, é importante notar que o valor lido depende da rotação do planeta, atração do sol e da lua e do achamento nos polos.

3.4.1 Correções e Anomalia Residual

Sabe-se já que a aceleração da gravidade tem a si relacionada um campo potencial e, nesse campo, tem-se uma superfície equipotencial de grande importância teórica, o "Geóide". Essa superfície é definida como sendo a superfície imaginária amarrada pelo nível do mar e que, sobre a qual, o potencial gravitacional permanece constante. Acontece que o Geóide tem uma forma irregular e, visando simplificações, foi aproximado como esferóide (figura que pode ser pensada como uma elipse em revolução).

Para a determinação do potencial total, que possui contribuição da massa e da rotação da Terra, temos a seguinte expressão:

$$U = U_g + U_r. \quad (3.3)$$

Conhecendo o esferóide e sabendo que o potencial total é dado pelo somatório anterior, chegou-se, via acordo internacional, numa função da aceleração da gravidade variando com a latitude(λ):

$$g_0 = 9,7803267714 \frac{1 + 0,0019318513639 \sin^2 \lambda}{\sqrt{1 - 0,00669437999013 \sin^2 \lambda}}, \quad (3.4)$$

para essa expressão, o valor para a gravidade é obtido na unidade metro/segundo² (m/s²).

Dentre as correções listadas, a Correção de Ar-Livre atribui um valor para a aceleração da gravidade, se essa fosse lida diretamente no Datum. Sabe-se que a gravidade e a distância d entre o corpo que gera essa aceleração são grandezas inversamente proporcionais, ou seja, se a medida for feita a uma cota maior que a do Datum escolhido, o valor lido será menor que o valor no Datum, portanto, guardada as devidas convenções de sinais, se espera que ao aplicar essa correção o valor para módulo da aceleração da gravidade aumente; o raciocínio inverso se aplica, caso o ponto de leitura esteja abaixo do Datum. Vale observar aqui que essa correção se relaciona apenas à distância entre o ponto de leitura e o Datum escolhido e não à diferença de densidade entre eles. A Correção de Ar-Livre é dada, utilizando como referencial para cálculo da gravidade o nível do mar, pela expressão:

$$U = -0,3086 \times 10^{-5} h \quad (3.5)$$

sendo h a distância entre o ponto de leitura e o Datum adotado; para o caso de h na unidade de medida metros, o valor para essa correção será obtido na unidade m/s².

Para se retirar o efeito da massa-densidade de corpos acima ou abaixo do Datum, se calcula a contribuição para a gravidade de um corpo com espessura igual à distância do ponto de leitura até o Datum. Depois de obtido o valor para a correção, também guardadas as devidas convenções de sinais, o que se espera é que, caso o ponto lido esteja acima do Datum, a massa do corpo abaixo aumente o valor da gravidade. Pós aplicada essa correção, o valor final deve ser menor que o originalmente lido para ponto de leitura acima do Datum (inverso para ponto de leitura abaixo do Datum). A correção responsável por retirar o efeito da massa de corpos acima ou abaixo do Datum é a Correção Bouguer e é dada por:

$$U = 2\pi G\rho h \quad (3.6)$$

sendo G a constante gravitacional, ρ a densidade atribuída ao corpo planar e h a espessura do corpo; a constante gravitacional tem valor igual a $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ e, para ρ e h dados em kg/m^3 e metro, respectivamente, a correção será obtida em m/s^2 .

Como o dado utilizado para ser trabalhado foi entregue ao autor com a Anomalia Bouguer já calculada, as considerações sobre a Correção de Ar-livre, Correção Bouguer e efeito da rotação do módulo da gravidade tinham sido todas feitas.

A separação residual-regional é subjetiva, pois depende do interesse final que se tem com o trabalho. É possível pensar como regional litotipos abaixo do qual não há depósitos minerais com teor que o faça ser qualificado como econômico (fazendo com que o objetivo do processamento seja retirar sua contribuição) e também é possível pensar como regional o embasamento de um bacia sedimentar (nesse caso, a anomalia residual - de interesse - estaria ligada as rochas presentes no contexto da bacia).

3.4.2 O Método de Talwani

O trabalho de inversão realizado consistiu na comparação entre as curvas calculadas a partir das formas inseridas no GMSYS e a curvas dos dados gravimétricos levantados. O Método empregado para calcular a resposta gravimétrica é o Método de Talwani (Talwani et al. (1959) e Talwani (1964) *apud*. Blakely (1996)).

Este método aproxima a forma do corpo em subsuperfície como um conjunto de várias lâminas e as lâminas, por sua vez, são aproximadas por polígonos (Figura 3.8).

A partir da expressão apresentada neste capítulo para a determinação do valor da gravidade entre dois pontos, é possível chegar a uma expressão mais geral que define o valor da atração gravitacional em um ponto e produzida por um corpo, consideradas suas 3 dimensões:

$$g(x, y, z) = G\rho \int z' dz' \iint_S \frac{1}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} dx' dy'. \quad (3.7)$$

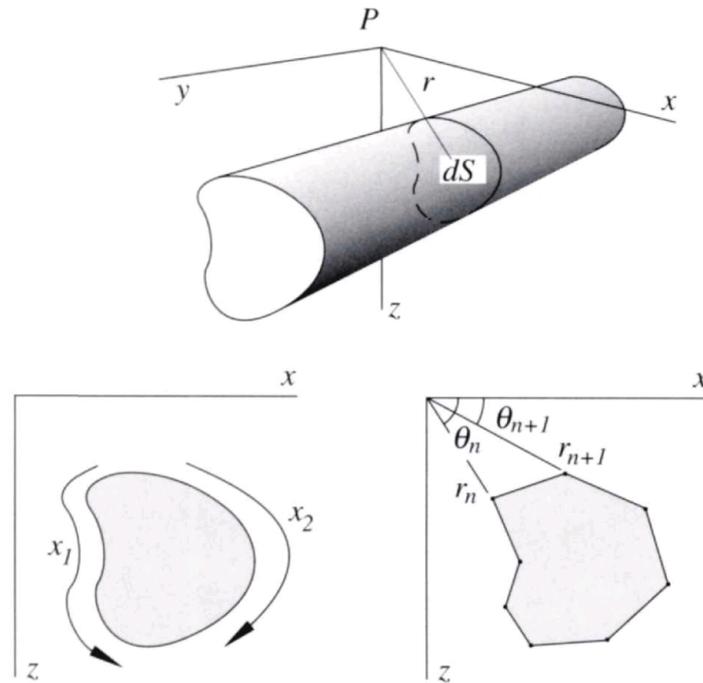


Figura 3.8: Representação de um corpo a partir do Método de Talwani, onde se verifica o polígono que representaria uma das seções transversais a ele. Fonte: Blakely (1996).

Fato é que S representa uma superfície de integração, no caso, referido sobre uma lâmina (Blakely, 1996) e, considerando que essa integral é sobre o perímetro da lâmina, g pode ser também expressa por:

$$g(x, y, z) = \oint \frac{x'}{(y'^2 + z'^2)(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{1/2}} dx'. \quad (3.8)$$

Como o perímetro é ainda sobre um polígono, os pontos que definem os de início e fim do cálculo da integral apresentam-se com uma relação linear, portanto, esse cálculo se simplifica, tendo em vista essa relação entre x' e y' .

Capítulo 4

Análise dos Dados e métodos empregados

4.1 Procedimento Inicial

Como os principais resultados esperados para esse trabalho foram a interpretação sismoestratigráfica de seções sísmicas sob o viés da estratigrafia de sequências e a confecção de seções gravimétricas, antes de tudo se fez um levantamento sobre as curvas que foram perfiladas em cada um dos poços presentes na área de estudo para que fossem conhecidos os dados disponíveis. Na sísmica, os poços auxiliaram na identificação das discordâncias via leitura e interpretação da curva *Gamma Ray* (GR), onde buscava-se mudanças na linha de base, e, na gravimetria, as curvas RHOB (densidade) e DT (sônico) foram utilizadas para leitura ou cálculo da densidade. A leitura da densidade feita pela curva RHOB e o cálculo, caso a curva RHOB não tivesse apresentada, a partir da curva DT e fazendo o uso da Equação de Gardner.

As seções sísmicas nas quais continham poços locados foram observadas para que pudessem ser escolhidos os *strikes* para as seções gravimétricas. Além do trabalho de verificação de dados, foi escolhido adotar no *Oasis* coordenadas UTM, para que a unidade de dimensão a ser utilizada no *database* (Figura 4.1) fosse o metro (m).

Para a construção das seções gravimétricas a escolha foi de inserir (digitar) as coordenadas dos pontos inicial e final de cada uma das seções; para isso obteve-se essas coordenadas a partir do *Software* onde as seções sísmicas estavam carregadas, o *IHS Kingdom*.

✓ DCPGG:0	Longitude	Latitude	AltOrt	Bouguer	GOBSERVADO	X	Y	X	Y
13649.0	-38.55	-12.59	47.99	-31.50	825149.00	548727.61	8607909.10	548727.61	8607909.10
13650.0	-38.55	-12.59	50.25	-30.95	825155.00	549268.07	8607646.08	549268.07	8607646.08
13651.0	-38.55	-12.59	49.60	-31.51	825098.00	549058.43	8608269.05	549058.43	8608269.05
13652.0	-38.55	-12.59	48.53	-31.80	825087.00	548531.85	8608407.07	548531.85	8608407.07
13653.0	-38.56	-12.59	52.22	-32.15	824969.00	548130.11	8608497.33	548130.11	8608497.33
13654.0	-38.55	-12.58	55.50	-32.06	824864.00	549254.80	8609393.37	549254.80	8609393.37
13655.0	-38.55	-12.58	64.25	-32.11	824666.00	548849.69	8609433.88	548849.69	8609433.88
13656.0	-38.55	-12.58	59.09	-32.42	824754.00	548428.29	8609468.88	548428.29	8609468.88
13657.0	-38.55	-12.57	115.26	-32.33	823441.00	549328.35	8609841.12	549328.35	8609841.12
13658.0	-38.55	-12.60	52.84	-31.27	825086.00	548685.10	8607185.94	548685.10	8607185.94
13659.0	-38.55	-12.60	52.93	-31.84	825022.00	548341.09	8607366.78	548341.09	8607366.78
13660.0	-38.56	-12.60	53.84	-32.34	824946.00	547944.98	8607572.03	547944.98	8607572.03
13661.0	-38.57	-12.56	64.78	-33.09	824494.00	547087.77	8611395.31	547087.77	8611395.31
13662.0	-38.57	-12.56	66.85	-33.07	824460.00	546790.75	8611117.12	546790.75	8611117.12
13663.0	-38.57	-12.57	61.25	-32.92	824610.00	546480.67	8610819.04	546480.67	8610819.04
13664.0	-38.57	-12.57	82.98	-32.46	824175.00	546207.57	8610548.55	546207.57	8610548.55
13665.0	-38.58	-12.57	63.70	-32.70	824598.00	545859.43	8610217.36	545859.43	8610217.36
13666.0	-38.58	-12.57	66.02	-32.66	824559.00	545967.53	8609888.74	545967.53	8609888.74
13667.0	-38.57	-12.57	85.16	-32.42	824136.00	546250.46	8610200.14	546250.46	8610200.14
13668.0	-38.57	-12.57	63.57	-32.78	824583.00	546499.73	8610517.11	546499.73	8610517.11
13669.0	-38.57	-12.57	62.45	-33.00	824583.00	546774.98	8610774.33	546774.98	8610774.33
13670.0	-38.57	-12.56	58.87	-33.12	824632.00	547141.63	8611116.54	547141.63	8611116.54
13671.0	-38.70	-12.55	3.00	-41.92	824960.00	532347.72	8612443.09	532347.72	8612443.09
13672.0	-38.70	-12.55	3.14	-42.06	824938.00	532732.39	8612537.76	532732.39	8612537.76
13673.0	-38.69	-12.55	10.57	-42.63	824719.00	533329.77	8612443.07	533329.77	8612443.07
13674.0	-38.69	-12.55	8.48	-43.04	824714.00	533801.61	8612752.15	533801.61	8612752.15
13675.0	-38.69	-12.54	11.13	-42.95	824641.00	533960.83	8613271.71	533960.83	8613271.71
13676.0	-38.69	-12.54	17.17	-42.67	824517.00	534029.73	8613657.57	534029.73	8613657.57
13677.0	-38.69	-12.54	26.29	-42.25	824343.00	534119.36	8614110.86	534119.36	8614110.86
13678.0	-38.68	-12.53	34.23	-42.40	824143.00	534492.30	8614363.65	534492.30	8614363.65
13679.0	-38.68	-12.53	35.93	-41.90	824136.00	534449.52	8614933.21	534449.52	8614933.21
13680.0	-38.68	-12.53	29.72	-42.11	824241.00	534757.39	8615263.48	534757.39	8615263.48
13681.0	-38.68	-12.52	28.92	-42.23	824233.00	534995.78	8615641.39	534995.78	8615641.39
13682.0	-38.68	-12.52	36.84	-42.06	824050.00	535126.00	8616165.40	535126.00	8616165.40
13683.0	-38.67	-12.52	44.63	-42.39	823842.00	535637.61	8616296.36	535637.61	8616296.36
13684.0	-38.67	-12.51	53.81	-41.74	823683.00	535529.58	8616800.76	535529.58	8616800.76
13685.0	-38.67	-12.51	63.36	-41.86	823441.00	535761.60	8617271.56	535761.60	8617271.56
13686.0	-38.67	-12.51	69.83	-42.46	823246.00	536174.11	8616980.21	536174.11	8616980.21
13687.0	-38.66	-12.51	77.45	-42.52	823075.00	536608.58	8616867.97	536608.58	8616867.97
13688.0	-38.66	-12.51	76.99	-42.55	823080.00	537101.98	8616965.75	537101.98	8616965.75
13689.0	-38.65	-12.51	75.87	-42.07	823151.00	537579.08	8617053.60	537579.08	8617053.60
13690.0	-38.65	-12.51	75.24	-41.34	823239.00	538146.17	8616999.77	538146.17	8616999.77
13691.0	-38.64	-12.51	78.58	-41.00	823192.00	538679.68	8617017.86	538679.68	8617017.86
13692.0	-38.64	-12.51	78.46	-41.36	823149.00	538698.84	8617534.26	538698.84	8617534.26
13693.0	-38.64	-12.50	80.57	-41.71	823049.00	539088.47	8618007.04	539088.47	8618007.04
13694.0	-38.64	-12.50	69.06	-41.13	823377.00	539453.17	8617728.97	539453.17	8617728.97
13695.0	-38.63	-12.51	77.07	-39.91	823329.00	539850.43	8617427.63	539850.43	8617427.63
13696.0	-38.63	-12.51	65.97	-38.94	823683.00	540244.43	8617130.72	540244.43	8617130.72
13697.0	-38.63	-12.51	82.92	-37.55	823448.00	540613.44	8616846.00	540613.44	8616846.00
13698.0	-38.62	-12.51	78.83	-37.20	823587.00	540944.48	8616595.61	540944.48	8616595.61
13699.0	-38.62	-12.52	65.81	-37.69	823839.00	541286.35	8616334.14	541286.35	8616334.14
13700.0	-38.62	-12.52	77.78	-37.70	823582.00	541717.22	8616008.40	541717.22	8616008.40
13701.0	-38.61	-12.52	81.40	-37.27	823552.00	542106.83	8615711.46	542106.83	8615711.46

Figura 4.1: Modo de apresentação do *database* no *Oasis*

4.2 Procedimentos referentes ao Método Gravimétrico

A construção de seções usando o módulo GMSYS - *Oasis montaj* foi feita a partir da escolha dos pontos que a irão compor em mapa. Pontos finais e iniciais das seções podem ser inseridos ao simplesmente digitar suas coordenadas e também pode ser feita a digitalização de pontos, tendo sido escolhida a primeira forma mencionada. Isso denota que precisou ser feito, antes de iniciar o trabalho de modelagem gravimétrica, a gridagem dos dados. A primeira ideia para o método gravimétrico foi a de obter a profundidade do embasamento, portanto, como o dado foi entregue originalmente com o valor da Anomalia Bouguer, teve-se que e pensar num modo de separar os dados provenientes do embasamento dos advindos do preenchimento sedimentar.

Das formas comumente usadas para filtragem do dado, e consequente separação do cristalino e preenchimento siliciclástico, foi gerado resultado a partir dos métodos: Continuação para Cima, Filtro de *Butterworth* e a Filtragem Gaussiana. Todos esses três métodos foram

aplicados a partir da guia MAGMAP e escolhendo *Interactive Filtering*. Comparando os resultados a partir das curvas de decomposição espectral, optou-se por dar continuidade ao trabalho de inversão manual com o resultado obtido pós aplicado o Filtro de Butterworth. A Figura 4.2 apresenta a decomposição espectral de cada um dos três métodos testados. Percebe-se uma maior preservação do sinal das porções mais a esquerda das imagens e que são remetidas às correspondentes ao cristalino. Essa porção mais a esquerda é caracterizada por menor número de onda e maior comprimento de onda, características justamente de porções mais profundas e, por isso, foi priorizada a não remoção desse conjunto de dados na etapa de filtragem.

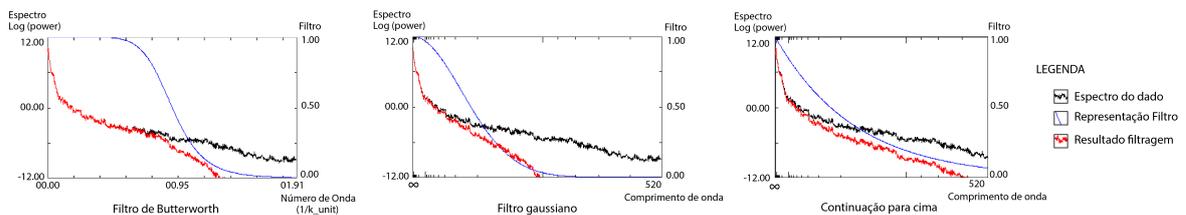


Figura 4.2: Janelas no *software Oasis* apresentando impacto no espectro do dado devido à aplicação de cada um dos métodos de separação residual - regional.

4.2.1 Utilização da Equação de Gardner

Os parâmetros de entrada e ajuste para o método gravimétrico são a densidade e o formato dos corpos inseridos. Para a densidade deve ser indicado nas seções gravimétricas um valor que se aproxime o máximo possível da densidade real do corpo em subsuperfície representado.

Pensando nos dados obtidos e utilizados para esse trabalho, tem-se os poços como dado direto e, quando comparado com os métodos gravimétrico e sísmico, é o de maior resolução, remetendo uma maior acurácia deste. Acontece, porém, que o parâmetro densidade não foi perfilado em todos os poços da área de estudo e, por isso, esse parâmetro foi obtido, para esses casos, utilizando a Equação de Gardner a partir da vagarosidade lida na Curva DT (sônico).

Dentre os diversos fatores que influenciam na densidade de determinado litotipo em subsuperfície estão a composição mineral, porosidade, teor de fluido, cimentação e, por influenciar em algum desses parâmetros já listados, a pressão (Gardner et al., 1974). Fato é que não é de conhecimento a relação que guarda (se linear ou exponencial, por exemplo) cada uma dessas variáveis com a densidade, isso em muito devido a complexidade geológica dos diferentes meios e sob diferentes circunstâncias. Aqui entra a vantagem do método empírico: caso se tenha um considerável volume de dados, é possível verificar uma tendência

de comportamento e, a partir daí, se chegar a uma expressão para o parâmetro de interesse.

Primeiramente, a Equação de Gardner, assim como várias outras de caráter empírico, são válidas para determinados contextos, ou seja, se deve conferir a possibilidade ou não da utilização da equação para com o contexto geológico relacionado a área de estudo. A Equação de Gardner foi definida para meio siliciclástico, com presença não significativa de sal e funciona bem para profundidades de até aproximadamente 2000 metros.

A Equação de Gardner é apresentada por:

$$\rho = 1,741V_p^{0,25}, \quad (4.1)$$

onde, caso seja utilizada nessa forma, o dado de V_p deve entrar em km/s e o valor obtido para a densidade (ρ) estaria na unidade g/cm³.

Para confecção das seções gravimétricas foram também utilizados dois poços com valor de densidade perfilado, a saber, o Poço 7 e o Poço 10. Esse poços foram importantes pois com eles foi possível calcular o desvio entre o obtido com a Equação 4.1 e o dado perfilado, ou seja, foi verificada a validade da Equação de Gardner na área de estudo deste trabalho.

4.2.2 Análise da Equação de Gardner

Como na maioria dos poços da área de estudo não foi perfilado a densidade, a Equação de Gardner foi amplamente utilizada neste trabalho. Ao acontecer o desenvolvimento dele foi pensado num possível modo de checar se o uso da equação estava realmente trazendo resultados pertinentes e, com o objetivo de analisar isso, fez-se alguns cálculos utilizando o arquivo com extensão *.las* dos Poço 7 e 10.

Primeiramente, para cada ponto onde a ferramenta fez a leitura da densidade, se calculou a diferença entre o valor perfilado para densidade e o entregue pela Equação de Gardner. Posteriormente, se somou essa diferença previamente calculada. Por fim, para que fosse definida a média dessa diferença, foi calculada a razão entre a soma dos desvios e o número de pontos em que a ferramenta registrou o dado de densidade. Para se ter uma noção relativa do desvio médio entre o perfilado e o obtido pela Equação de Gardner, foi calculada a razão deste desvio médio pelo valor da densidade média lida na ferramenta.

Percebe-se, analisando a razão entre o desvio médio e o valor médio de densidade, que a utilização da Equação de Gardner foi adequada. Esta análise da Equação permite também encorajar sua aplicação em casos de contextos geológicos similares ao da área de estudo.

4.2.3 Construção Seções Gravimétricas

A direção e a dimensão das seções gravimétricas foram escolhidas em função da presença de poços e seções sísmicas. Após coletadas coordenadas dos pontos finais e iniciais de todas

Média densidade (RHOB) Perfilado	2,320135945
Média densidade Gardner	2,326420652
Soma dos desvios calculados ponto a ponto	97,2225912
Número de pontos	781
Média dos desvios	0,124484752
Razão entre médias dos desvios e valor médio perfilado	0,053509133 ou 5,35%

Tabela 4.1: Análise estatística feita para o Poço 7 a fim de conferir a aplicabilidade da Equação de Gardner na área de estudo.

Média densidade (RHOB) Perfilado	2,456121546
Média densidade Gardner	2,296590087
Soma dos desvios calculados ponto a ponto	215,8548132
Número de pontos	1281
Média dos desvios	0,168504928
Razão entre médias dos desvios e valor médio perfilado	0,073371791 ou 7,34%

Tabela 4.2: Análise estatística feita para o Poço 10 a fim de conferir a aplicabilidade da Equação de Gardner na área de estudo.

as seções e checadas a perfilagem dos poços, escolheu-se três linhas para o trabalho de modelagem no módulo GMSYS. A direção das seções gravimétricas podem ser vistas na Figura 4.3.

Primeiramente, todos os arquivos com extensão *.las* dos poços da seção a ser confeccionada foram abertos com o objetivo de estabelecer um valor para densidade e velocidade de todo o pacote siliciclástico e também para o embasamento. O valor da velocidade média foi utilizado para calcular uma profundidade para o embasamento, isso aliado a leitura do tempo sísmico relacionado ao que foi interpretado como Discordância Basal nas seções sísmicas. Essa profundidade para o embasamento foi utilizada apenas como um guia, uma profundidade para iniciar a inversão no GMSYS.

Posteriormente, com já toda a interpretação sismoestratigráfica feita e com a seção gravimétrica que representava a profundidade do embasamento finalizada, a seção sísmica base para seção gravimétrica foi aberta para que pudesse ser coletado as informações de profundidade das discordâncias que foram interpretadas. Visando o levantamento dessas profundidades em metro, os valores foram coletados na posição onde o poço foi amarrado. Cada uma das discordâncias se tratou, no contexto da inversão gravimétrica, como topo ou base de alguma sequência ou megassequência inserida na seção.

Com os arquivos de extensão *.las* dos poços novamente sendo carregados e visualizados

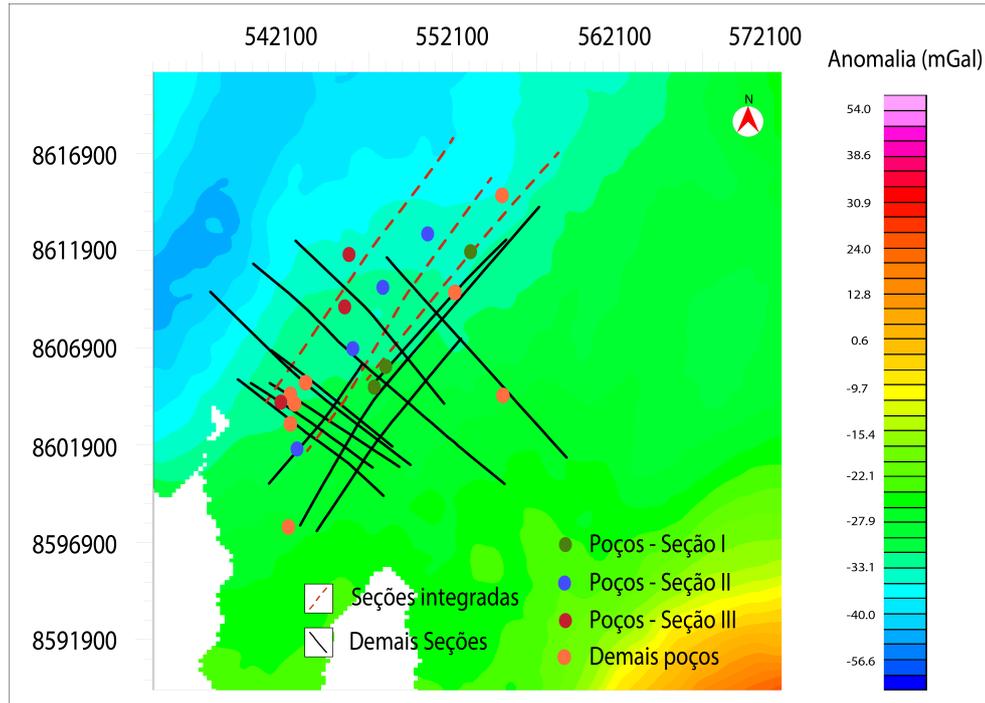


Figura 4.3: Dados pós aplicação do Filtro de Butterworth, apresentando volume poços e seções presentes na área de estudo.

no *software* adequado, foi coletado o valor da densidade para o Pré-Rifte, para o Rifte 1, para o Rifte 2, para o Rifte 3, para o Rifte 4 e para o Pós-Rifte.

Passadas essas etapas, o perfil composto foi utilizado para a interpretação de depósitos de debritos-turbiditos e também de sucessões flúvio-deltáicas, a partir do padrão Gamma-Ray (GR) perfilado nos poços (Figura 4.4). A profundidade de todo o interpretado nas seções sísmicas e nos poços foi lida no próprio perfil composto do poço e a densidade para as faixas de profundidade interpretadas foi obtida nos arquivos de extensão *.las* dos poços.

Com todos esses dados levantados e inseridos no GMSYS, passou-se à manipular as curvas principalmente através de mudanças na forma dos corpos inseridos nas seções. Mudanças na densidade, por ter se tratado de informação direta ou confiavelmente determinada, foram evitadas e admitidas apenas quando o poço foi finalizado em meio a uma sequência ou megasequência interpretada na sísmica. Isso pelo fato de que com o aumento da pressão litostática, a densidade a maiores profundidades devem ser maiores e, portanto, poderia permitir-se uma margem de variação para a densidade de trabalho para a construção das seções gravimétricas.

O método gravimétrico responde à variação lateral de densidade dos corpos em sub-superfície. Caso seja inserido em uma das seções um corpo com determinado contraste de densidade, a variação na curva devido a presença dessa recém feita modificação irá depender

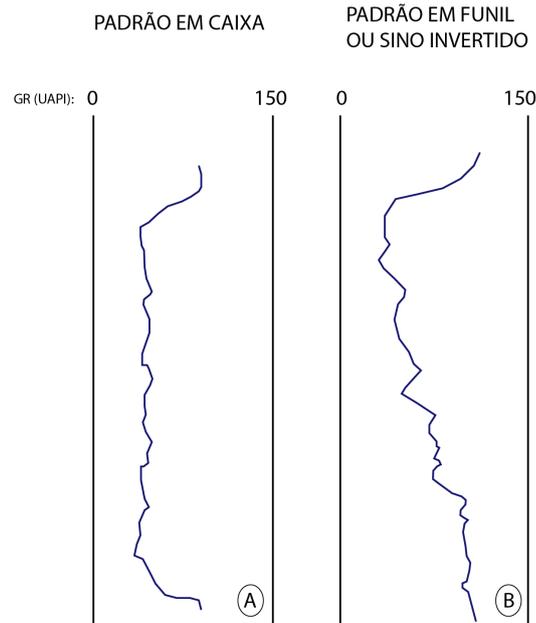


Figura 4.4: Em "A" interpreta-se uma constância nas propriedades faciológicas, como característico dos debritos, enquanto em "B", devido a variação gradual no valor de raio gama (GR), interpreta-se um gradual decréscimo na argilosidade, como característico de sucessões flúvio-deltáicas.

de quão significativa é essa diferença lateral na densidade, do formato inserido para esse corpo e também da distância entre o Datum e pontos presentes nesse corpo inserido. As sucessões flúvio-deltáicas e debritos lidos nos perfis compostos podem não causar variação significativa na curva calculada proveniente do modelo; por se tratar de dado direto lido em poço, mesmo não havendo variação na curva calculada para o modelo, essas modificações foram mantidas.

Objetivando uma maior aproximação entre as curvas calculadas e os dados apresentados para as seções, foram inseridos depósitos de debritos nas seções gravimétricas não interpretados nos poços. A densidade utilizada para esse último trabalho foi pensada a partir da análise de depósitos de debritos interpretados anteriormente nos poços.

4.3 Procedimentos referentes ao Método Sísmico

Como já explicado, a interpretação sísmica foi feita, basicamente, a partir da análise de sísmofácies e das terminações estratigráficas. A demarcação das terminações, principal meio da interpretação, foi feita analisando a seção em amplitude e fase. Para o caso da interpretação estrutural, o objetivo maior foi verificar discontinuidades nos refletores, que indicariam

falhamentos, e foi feita utilizando amplitude e o atributo TecVA.

Atrelada à utilização de diferentes atributos, a interpretação não foi feita seção a seção; foram marcadas as terminações do tipo truncamento, objetivando encontrar os refletores que corresponderiam as discordâncias, num conjunto de seções. No caso, o *software IHS Kingdom* permite o manuseio concomitante de diferentes seções e demarca em tempo, nas seções que se cortam, onde deveria passar determinada superfície de discordância já interpretada em outra seção sísmica. Esse procedimento auxilia no momento em que se depara com perdas de resolução, onde o intérprete pode fazer uso de diferentes seções com melhor resolução para interpretar superfícies na seção com resolução ruim, dando uma maior confiança ao que teria sido interpretado.

O cálculo de atributos se trata de um tratamento matemático dado ao sinal obtido do levantamento sísmico e, como o objetivo é fazer a interpretação tendo como *overlay* um dado, as superfícies foram marcadas com as seções em amplitude. Desta forma, os atributos foram utilizados como ferramenta auxiliar para a interpretação, não como base. Mais explicitamente, é notável que o atributo de fase instantânea traz consigo uma grande melhora na continuidade de refletores, o que facilita a visualização e identificação destes, mas o que se utilizou como procedimento foi a identificação das terminações com as seções em fase e o posterior reconhecimento dessas terminações com a seção em amplitude. Voltando-se para a interpretação estrutural, pode se identificar as perdas de continuidade de alguns refletores a partir do TecVA para, posteriormente, a marcação da falha identificada com a seção, assim como no caso da interpretação sismoestratigráfica, em amplitude.

Considerando os dados totais de seções sísmicas nesse trabalho (oito seções *dip* e oito *strike*), foram escolhidas duas seções representativas para a discussão na etapa de resultados provenientes da interpretação sísmica. Vale observar que, embora mostradas duas seções sísmicas na etapa de resultados, para a confecção do mapa de isópacas e topos, o *IHS Kingdom* faz uso de todas as seções interpretadas para fazer a interpolação/*gridagem*.

Capítulo 5

Interpretação Sísmica

5.1 Interpretação Estrutural

A interpretação estrutural permite subdividir a área de estudo em duas grandes regiões: Mais ao sul foram interpretadas falhas sintéticas e antitéticas, gerando estruturas em flor negativa, com rejeitos variando desde não expressivos até 430 ms (falha principal já mapeada por Destro (2002)); mais ao norte foram marcadas poucas falhas, caracterizando-a assim como de região pouco deformada.

A falha principal demarcada pode ser vista compartimentando desde o interpretado como embasamento até o interpretado como Sequência Rifte-3. Vale notar a perda na resolução sísmica que impossibilitou a interpretação desta falha numa determinada janela, notadamente de 0 s até cerca de 0,15 s, e tornou complicada a discussão sobre a possibilidade dessa falha principal estar também relacionada ao Rifte-4. No mapa de Destro (2002) (Figura 5.3) essa falha é a mais oeste e ela poderá também ser facilmente percebida no mapa de topo do embasamento (Figura 5.2). Nas seções sísmicas apresentadas como representativas, essa falha relacionada à porção à noroeste, sendo facilmente vistas.

Além da falha principal, pode ser notada compartimentação do embasamento na Seção 2, Figura 5.9, uma outra falha com rejeito de 250 ms que, juntamente com outra falha de rejeito similar mapeada, acabou por implicar em três blocos basculados para leste. Esses blocos podem ser percebidos principalmente pela variação na sismofácies ao se passar da megassequência Pré-Rifte para o embasamento.

5.2 Embasamento

O embasamento foi interpretado a partir de sismofácies caótica, pouco contínua e de alta amplitude que se encontra limitada por refletor positivo, isso devido ao significativo aumento

na velocidade da onda elástica ao se passar de meio com preenchimento sedimentar para um outro cristalino (ver Figura 5.1). O embasamento possui profundidade sísmica da ordem de 0,8 s na região oeste e varia até cerca de 2,0 s para região a leste (Figura 5.2).

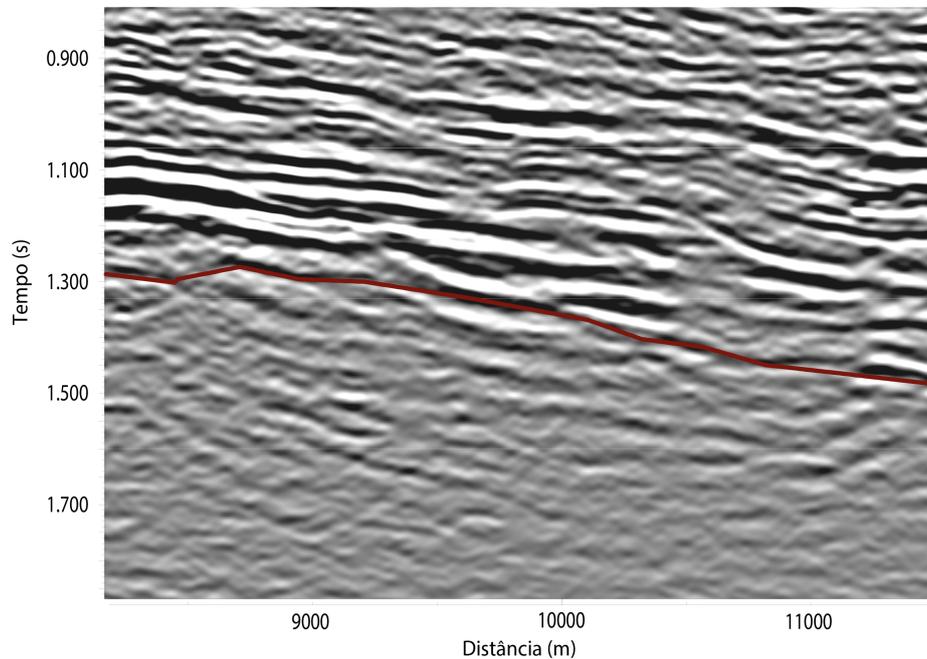


Figura 5.1: Em vermelho a Discordância Basal, que separa o pré-rifte do embasamento, onde pode-se notar clara mudança na sismofácies; notadamente, há a perda de continuidade dos refletores e também uma diminuição na intensidade do sinal sísmico.

Embora a interpretação utilizando-se as terminações estratigráficas tenham sido fortemente empregadas nesse trabalho, a análise de sismofácies se fez mais aplicável para interpretação do embasamento. Um exemplo pode ser visto na Figura 5.1, onde é possível notar uma clara mudança no padrão das sismofácies e a torna passível de utilização na interpretação.

5.3 Interpretação Sismoestratigráfica

Dentre as sequências e megassequências interpretadas e que serão descritas nesse tópico estão: Pré-Rifte, Rifte 1, Rifte 2, Rifte 3 e Rifte 4. Embora a Discordância Pós-Rifte tenha sido interpretada em parte da região de estudo, não será dado foco no Pós-Rifte, por estar extremamente localizado e também devido à resolução sísmica não estar satisfatória para fazer uma boa descrição.

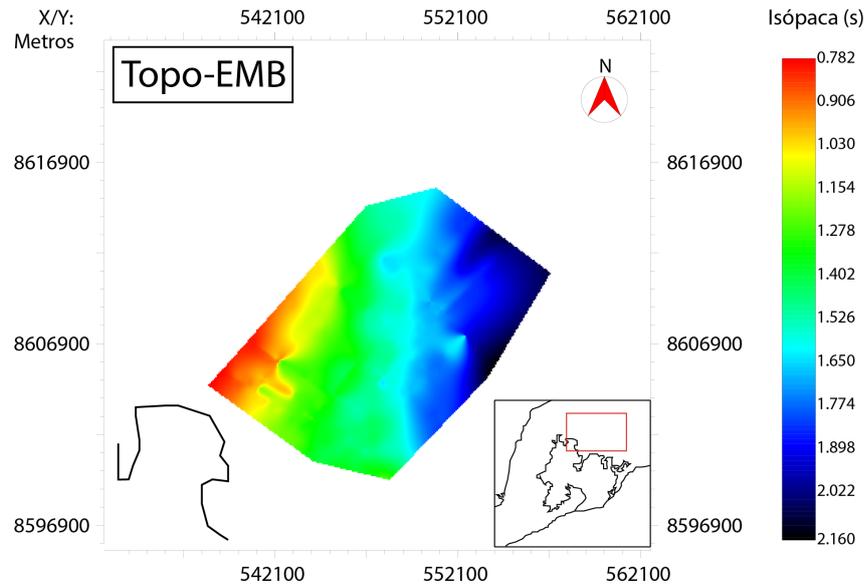


Figura 5.2: Topo do embasamento, onde pode ser notada a falha principal da área a oeste.

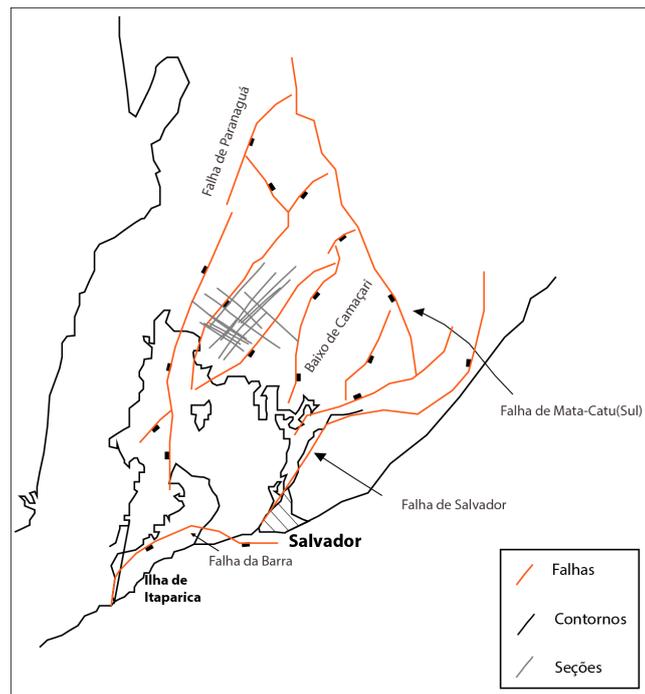


Figura 5.3: Principais falhas presentes no sul da Bacia do Recôncavo e relação espacial delas com as seções sísmicas da área de estudo com destaque ao contorno da Baía de Todos os Santos e à Cidade de Salvador. Fonte: Modificado de Destro (2002).

5.3.1 Discordância Rifte-1

Para a demarcação dessa superfície de discordância, a pesquisa bibliográfica e a análise em poços se fez muito importante. Para isso, foi observado nos poços a presença das Formações Sergi, Itaparica e Água Grande, onde, devido a continuidade lateral das duas últimas formações citadas, gera-se refletores contínuos nas seções sísmicas. A Formação Sergi se trata de uma boa referência sobre o estágio Pré-Rifte, é bem descrita na bibliografia e é de grande aceitação que essa formação está associado ao contexto do Pré-Rifte.

Seguindo essas observações, a Formação Sergi foi definida/considerada como o topo do Pré-Rifte. Devido à presença dessa formação nos poços da área de estudo, tendo bem demarcada os refletores aos quais estaria sotoposta (análise feita com os poços amarrados nas seções sísmicas), e sendo considerada a espessura do Pré-Rifte obtida na bibliografia, se fez a interpretação da superfície que denota a Discordância Rifte-1 (DR-1). O mapa de isópaca do Pré-Rifte, construído a partir da interpretação sísmica, mostra um região de espessura baixa e anômala que está relacionada à Falha Principal da área de estudo (Figura 5.4).

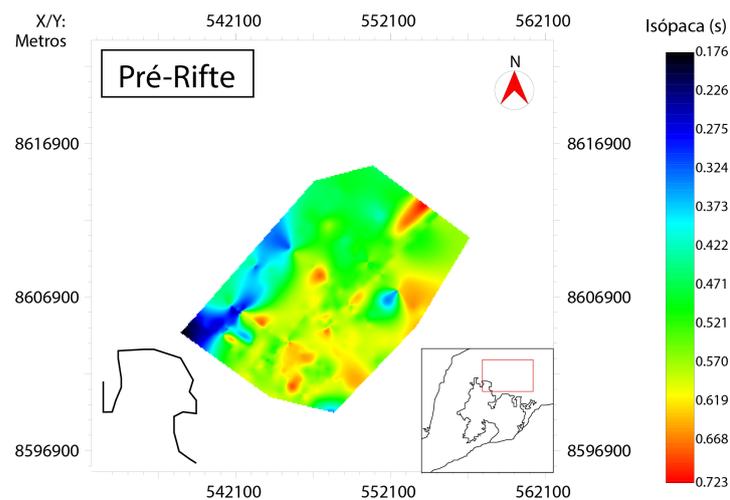


Figura 5.4: Notar a oeste a área de menor espessura do Pré-Rifte relacionada à Falha Principal. Nas demais regiões da área de estudo a espessura varia entre 400 e 700 ms.

Em suma, o Pré-Rifte, que é limitado pela chamada Discordância Basal e a DR-1, possui como característica de sismofácies refletores contínuos. Para algumas seções, vide Seção 1 (Figura 5.8), dentro dessa megassequência foram mapeadas falhas normais, mas que podem ser tardias, tendo em vista que para esse estágio, Pré-Rifte, não se espera estruturas rúpteis (Ver Figura 5.8).

A Seção 2 (Figura 5.9) mostra a interpretação e, conseqüentemente, as características dessa região mais ao norte. Nessa seção pode-se notar refletores com amplitude sísmica alta

e também contínuos, mas percebe-se ainda uma mudança lateral na amplitude sísmica, o que pode ter sido consequência de difração decorrente da presença de uma falha na região.

5.3.2 Discordâncias Internas à Fase Rifte

Escolheu-se num único tópico englobar a interpretação dos refletores referentes a Discordância Rifte-2, Discordância Rifte-3 e Discordância Rifte-4, pois essas três superfícies seguiram a mesma metodologia de interpretação. Claro que essas discordâncias implicam numa grande importância ao contexto geológico local e regional pois separam diferentes sequências da Fase Rifte, mas a descrição separadamente será feita sobre as sequências, não sobre as superfícies que as limitam. Vale destacar a importância do atributo de fase instantânea para a interpretação dessas superfícies de discordância, principalmente no início do trabalho, onde ainda não se tinha muita informação sobre o até então interpretado e também por ter se deparado com problemas na resolução do dado sísmico.

Sequência Rifte 1

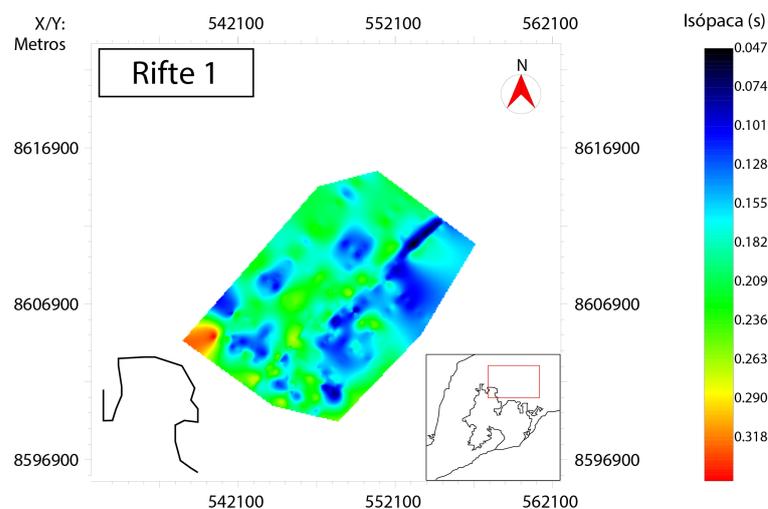


Figura 5.5: Sequência com espessura não superior a 400 ms, onde o depocentro está localizado ao sudoeste da área de estudo.

Essa sequência é limitada pela Discordância Rifte-1 e Discordância Rifte-2. Foi da base ao topo deslocada pela falha principal mapeada no sudoeste da área de estudo e tem uma grande variação lateral na sismofácies. Em algumas seções teve sua interpretação bem dificultada, devido a baixa amplitude dos refletores (essa mesma dificuldade gerou grandes complicações na discussão sobre possíveis mudanças de sistemas deposicionais, devido a im-

possibilidade de se firmar uma relação entre esses sistemas e a mudança nas fácies sísmicas). O aqui descrito pode ser visto na Figura 5.8 e na Figura 5.9.

Pelo mapa de isópacas (Figura 5.5), pode-se perceber que a espessura máxima dessa sequência não chegou a 400 ms e que a região de maior espessura está no limite da área de estudo, porção mais ao sul da área de estudo.

Sequência Rifte 2

Limitada pela Discordância Rifte-2 e pela Discordância Rifte-3, essa sequência, assim como a anteriormente descrita, foi deslocada pela falha principal da área de estudo. Devido a atividade dessa falha, a Sequência Rifte-2 tem espessura sísmica pouca ou reduzida na parte oeste da área e ganha espessura à medida que se faz a análise de oeste para leste, chegando a espessuras superiores a 700 ms.

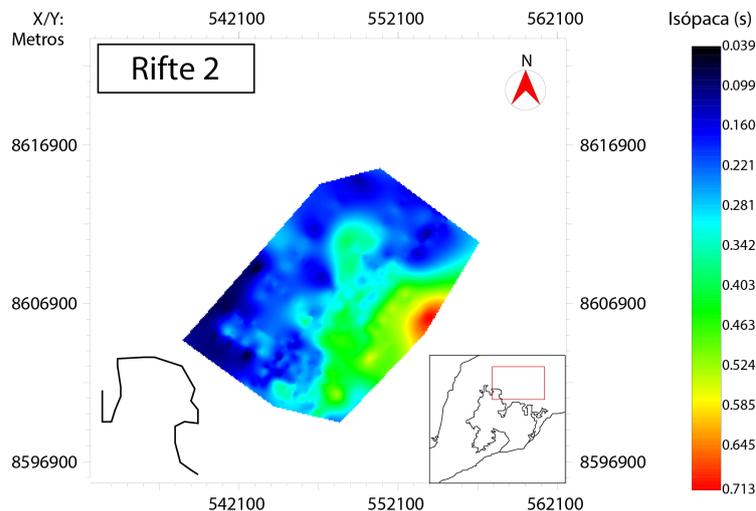


Figura 5.6: Espessura do Rifte 2 variando de 0,0039 s a 0,713 s. Os valores para espessura da área a oeste relacionados a atuação da Falha Principal e depocentro a leste da área de trabalho.

Quanto a análise de sismofácies, apresenta basicamente caótica e com baixa amplitude, exceção apenas na região influenciada pela falha principal, onde aparecem refletos contínuos e também com forte amplitude (Ver Figura 5.8 e Figura 5.9).

Sequência Rifte 3

A Sequência Rifte 3 é limitada pela Discordância Rifte-3 e pela Discordância Rifte-4 e possui sismofácies similar à discutida na Sequência Rifte 2, caótica e de baixa amplitude. Os refletos associados à Sequência Rifte 3 possuem, geralmente, baixa energia, sendo raro

encontrar algum com continuidade dentre as seções da área de estudo (Ver Figura 5.8 e Figura 5.9). Apresenta espessura sísmica inferior a 500 ms e aumentando para nordeste.

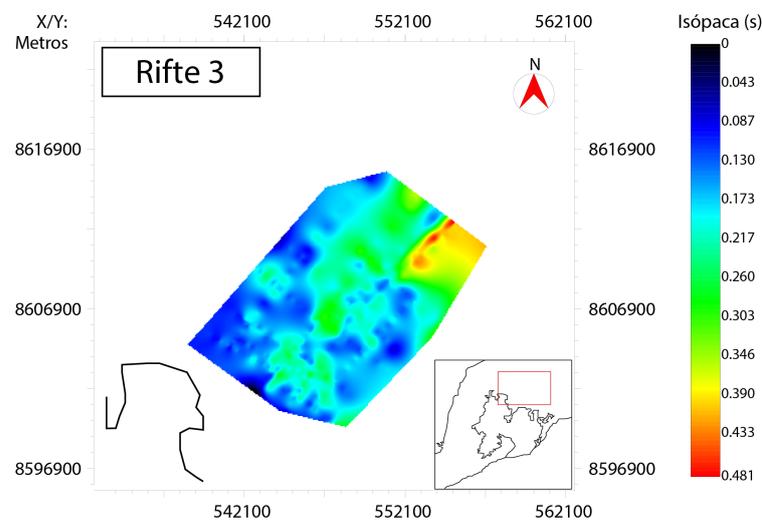


Figura 5.7: Espessura do Rifte 3 variando de 0,00 s a 0,481 s. Percebe-se o depocentro a nordeste da área de trabalho.

Sequência Rifte 4

A última sequência da Fase Rifte apresenta diferença na sua delimitação, quando comparada às demais: a base dessa sequência é a Discordância Rifte-4, que foi bem mapeada na área de estudo, porém, o topo foi pouco definido, apenas no norte da área de estudo foi encontrado suporte suficiente para definir a Discordância Pós-Rifte.

O padrão de sismofácies dessa Sequência possui variação lateral. Em boa parte da área de estudo é similar ao descrito nas Sequência Rifte 3, complicando a análise de sismofácies.

5.3.3 Discordância Pós-Rifte

Mapeada apenas na região norte da área de estudo, essa discordância define a Megassequência Pós-Rifte, representado pela Formação São Sebastião. Nas seções onde essa discordância foi mapeada, a janela sísmica consequentemente obtida e que define o Pós-Rifte, além de apresentar poucos milissegundos, os tem em qualidade ruim. Essa discordância mostra sua importância ao limitar a Fase Rifte, estando as sequências definidas por essa fase sotopostas a ela.

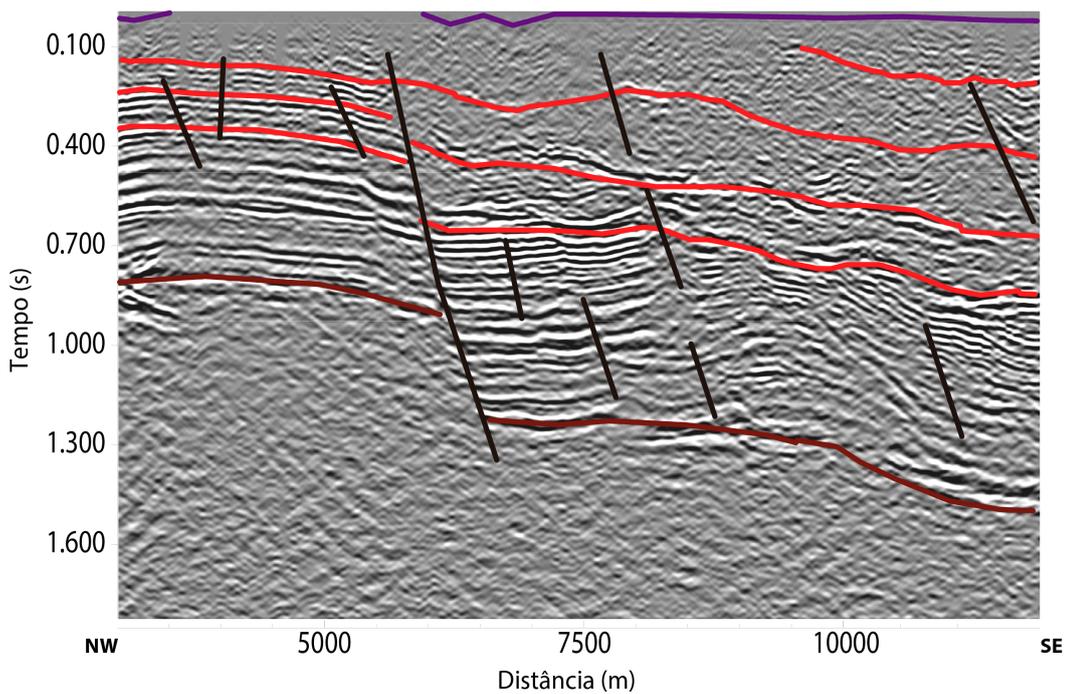
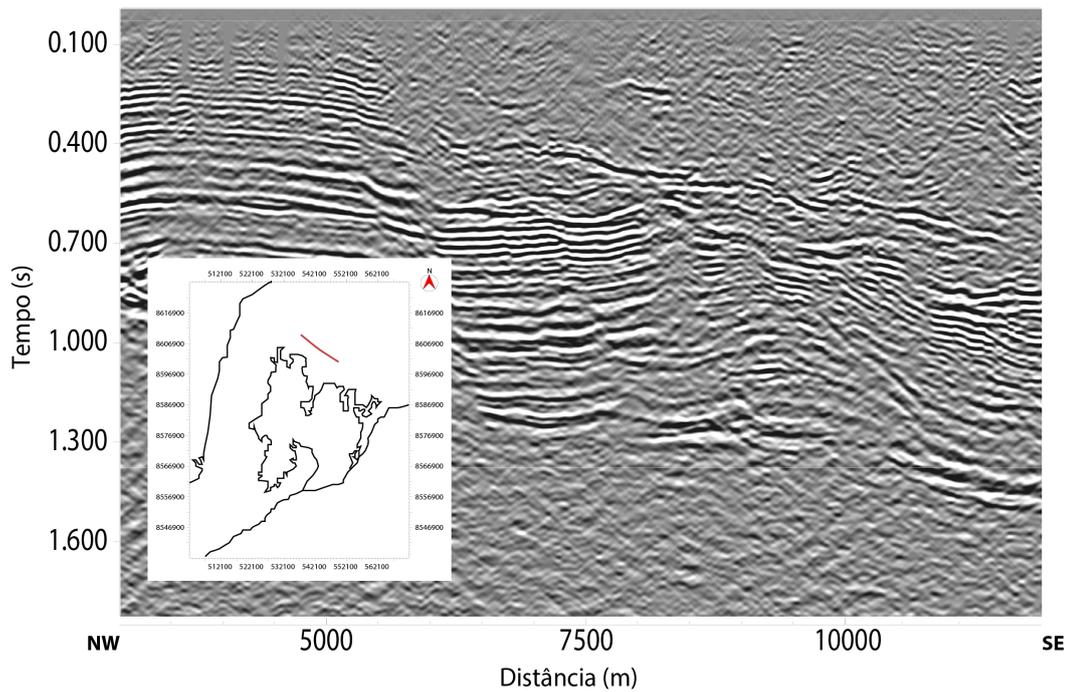


Figura 5.8: Seção 1, dip, ao sul da área de estudo. No mapa localização está localizado o contorno na Baía de Todos os Santos. A leste, pode ser vista a falha principal já descrita no tópico Interpretação Estrutural. Essa seção exemplifica a região ao sul da área de estudo e destaca a diferença na profundidade do embasamento e das sequências da Fase Rifte decorrente da Falha Principal.

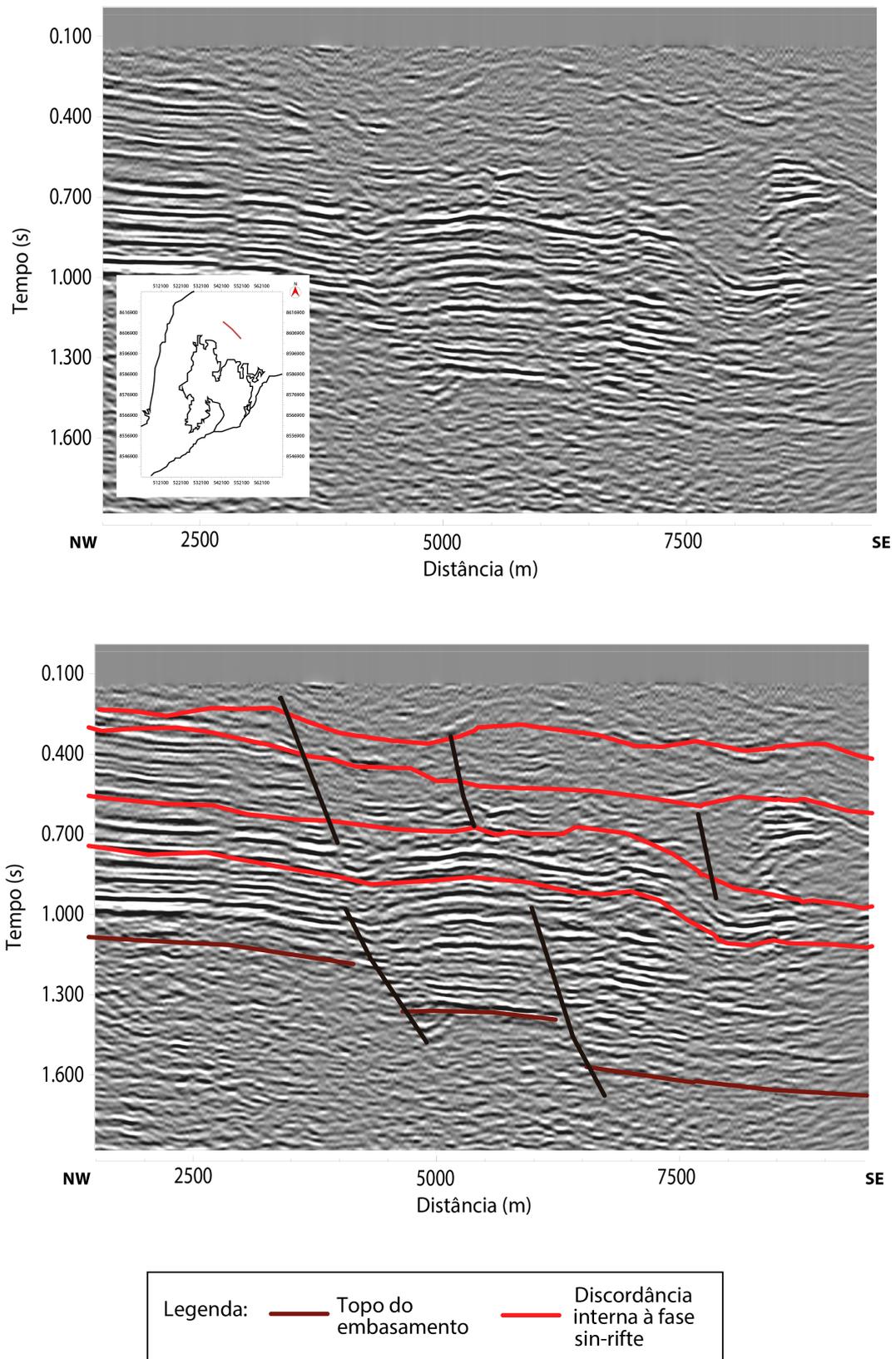


Figura 5.9: Seção 2, *dip*. No mapa localização está localizado o contorno na Baía de Todos os Santos. Nota-se a ausência da Discordância Pós-Rifte; como já dito, essa superfície não foi mapeada em todas as seções, estando restrita ao norte da área objetivo definida. Notar ainda a compartimentação do embasamento em três blocos.

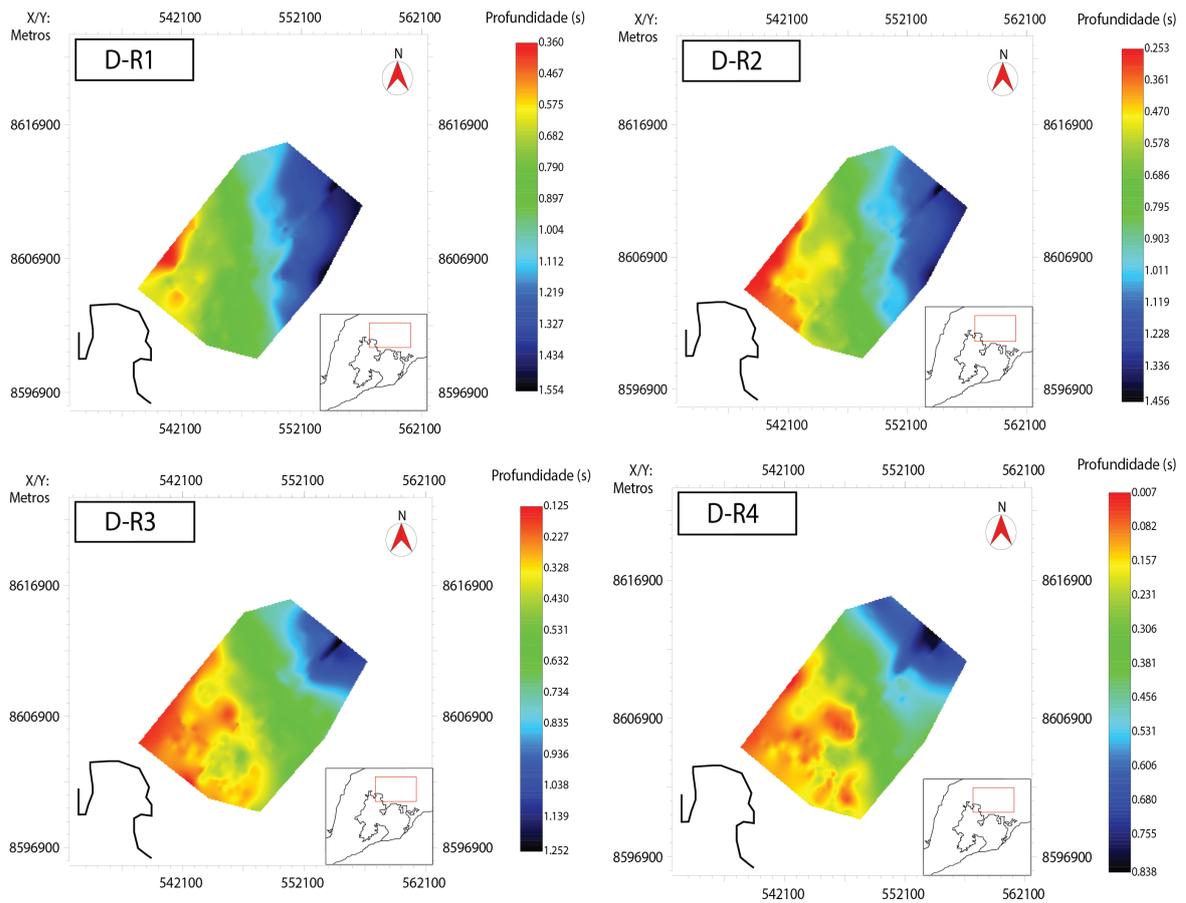


Figura 5.10: Imagem indicando a profundidade, em tempo sísmico, de todas as discordâncias mapeadas, onde pode-se perceber um comportamento geral das superfícies aumentando suas profundidades de SW para NE. Ainda presente um mapa localização, destacado o contorno da Baía de Todos os Santos, com a área de estudo circundada em vermelho.

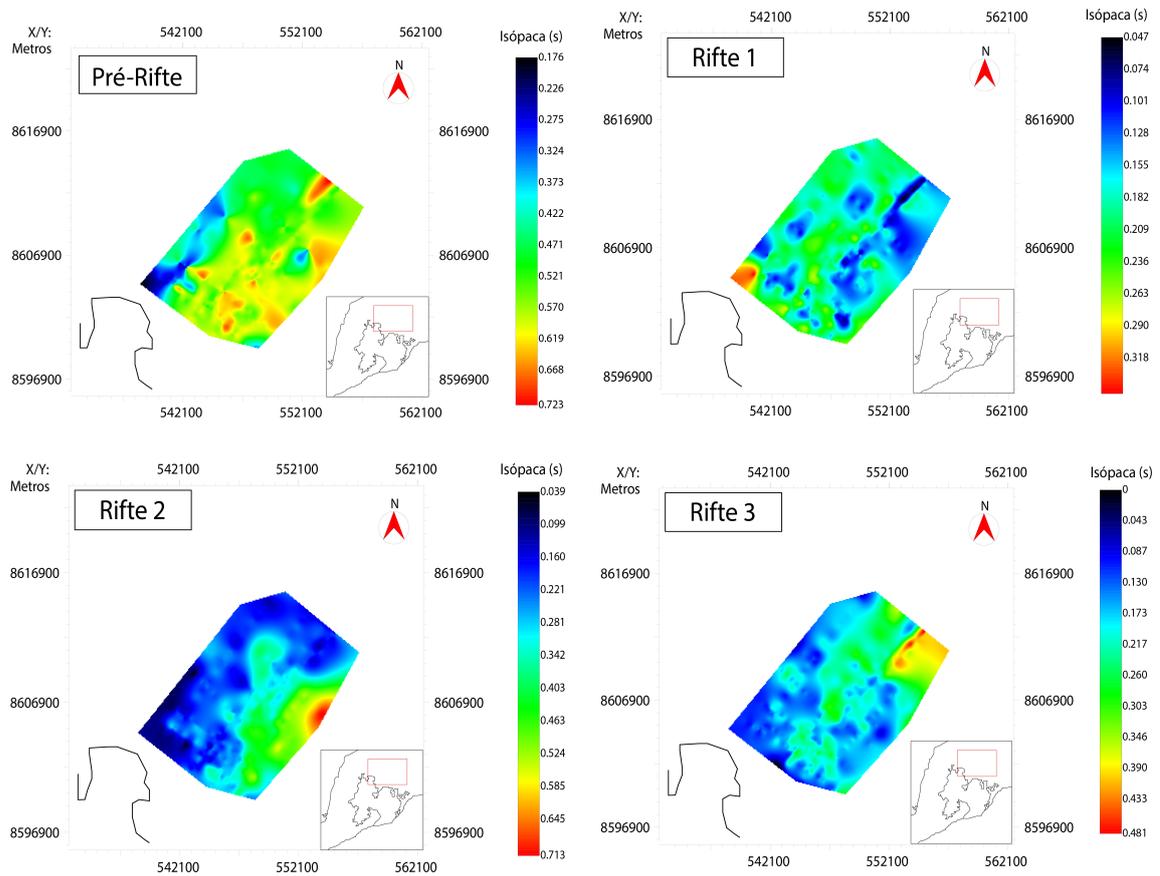


Figura 5.11: Mapa de espessura do Pré-Rifte (A), Sequência Rifte 1 (B), Sequência Rifte 2 (C) e Sequência Rifte 3 (D). O mapa localização indica, em vermelho, o polígono do mapa e, em preto, os contornos das bacias e também da Baía de Todos os Santos. De modo geral, apenas em B vê-se um padrão diferente para isópaca, com o depocentro a sudeste; para os demais, o maior espessura está localizada a oeste/nordeste. Nota-se ainda, para o Pré-Rifte, pontos localizados de maior espessura.

Capítulo 6

Integração Método Sísmico e Gravimétrico

Para a construção das três seções gravimétricas, além da utilização de seções sísmicas, fez-se uso de dez poços; esses foram distribuídos da seguinte forma: Poços 1, 2 e 3 para a Seção Gravimétrica 1; Poços 4, 5, 6 e 7 para a Seção Gravimétrica 2; Poços 8, 9 e 10 para a Seção Gravimétrica 3 (Figura 4.3). Destes poços listados, o de número 7 e o de número 10 tiveram o parâmetro densidade perfilado; para os demais, a densidade foi calculada a partir da curva de vagariedade (DT) usando a Equação de Gardner.

As seções sísmicas utilizadas para a construção de seções gravimétricas foram três. Para a Seção Gravimétrica 1, a Seção Sísmica 3; para a Seção Gravimétrica 2, a Seção Sísmica 4; e, para a Seção Gravimétrica 3, a Seção Sísmica 5.

6.1 Inversão Gravimétrica

Foram utilizados os *softwares IHS Kingdom* e o *Oasis Montaj*. O *IHS Kingdom* para a interpretação e análise dos dados sísmicos interpretados e/ou carregados e o *Oasis Montaj* para análise dos dados gravimétricos e modelagem gravimétrica.

Como já descrito no capítulo sobre métodos empregados, a primeira etapa para modelagem gravimétrica foi a construção de seções para o embasamento. Anteriormente a isso, se fez a decomposição espectral do dado, para que essa primeira seção fosse construída sobre dados a ele referentes.

Após confeccionadas essas seções para o embasamento, a integração entre os métodos sísmico e gravimétrico teve início. A partir do interpretado na sísmica, onde foram definidos o embasamento, o Pré-Rifte, as sequências internas à Fase Rifte e Pós-Rifte, puderam ser inseridas as sequências e megassequências nas seções gravimétricas.

As seções sísmicas têm a profundidade demarcada em tempo sísmico, ou seja, os refletores são registrados no tempo de retorno do sinal proveniente da fonte de onda acústica. A unidade de trabalho durante a construção das seções gravimétricas é o metro, desta forma, o autor retirou os dados de profundidade das discordâncias, e também das profundidades de preenchimentos flúvio-deltáicos e depósitos de debritos, na posição dos poços que estavam amarrados nas seções sísmicas correspondentes. Esse procedimento no levantamento das profundidades foi feito no *software IHS Kingdom* e permitiu que os dados fossem colhidos na unidade metro, pois, como já dito, os poços utilizados para a confecção das seções gravimétricas estavam todos amarrados nas seções sísmicas a eles relacionados.

Aqui, a fim de simplificar a escrita, as Sequências Rifte-1, Rifte-2, Rifte-3 e Rifte-4 serão apresentadas como Riftes 1, 2, 3 e 4.

Para cada um dos 10 poços utilizados diretamente na confecção das três seções gravimétricas, serão apresentados em tabelas os dados sobre a profundidade e densidade de cada sequência, supersequência, preenchimento flúvio-deltáico e depósitos de debritos inseridos no momento da construção das seções gravimétricas.

6.1.1 Seção 1: Seção Gravimétrica 1 - Linha Sísmica 3

Para a construção da Seção 1, além do interpretado na sísmica, foram utilizados os poços 1, 2 e 3. As informações desses poços foram inseridas nas posições de zero metro, mil metros e nove mil metros, respectivamente. Esses dados sobre a posição dos poços tem como referência a seção sísmica onde eles foram amarrados (o mesmo se aplica para os poços amarrados às demais seções gravimétricas).

Superfície	Poço 1	Poço 2	Poço 3
DR-1	1487	1495	-
DR-2	1214	1050	-
DR-3	580	527	1200
DR-4	108	-	854
DPR	-	-	-

Tabela 6.1: Profundidade em metros das discordâncias interpretadas na sísmica referentes à posição de cada um dos poços da Seção 1.

As informações de densidade, como já abordado, foram obtidas a partir dos arquivos de extensão *.las* de cada um dos poços, onde, quando não utilizada a ferramenta de perfilagem e ausente esse dado, utilizou-se a Equação de Gardner para calculá-las. Os dados referentes

a densidade utilizada como de cada uma das sequências, estão, assim como no caso da profundidade das discordâncias mapeadas, apresentadas em tabela (Tabela 6.2).

Para a Seção Sísmica 3 (Figura 6.1), notar o aumento de profundidade das superfícies de discordância de sudoeste para nordeste. Os valores para profundidade das discordâncias foram lidos nas posições dos poços e inseridos na seção gravimétrica correspondente. Notar que este mesmo ganho em profundidade pode ser verificado na Seção Gravimétrica. Sobre o embasamento, na seção sísmica e também na gravimétrica percebe-se seu topo ficando mais profundo a medida que se desloca do sudoeste para o nordeste.

	Poço 1	Poço 2	Poço 3
Pré-Rifte	2,408	2,432	-
Rifte 1	2,385	2,408	-
Rifte 2	2,335	2,345	2,313
Rifte 3	2,241	2,25	2,344
Rifte 4	-	-	2,249

Tabela 6.2: Densidade, em g/cm^3 , obtida nos poços para o Pré Rifte e para cada uma das sequências interpretadas na Seção 1.

Foram interpretados nos poços preenchimentos flúvio-deltáicos e depósitos de debritos/-turbiditos, mostrados também em tabela (Tabela 6.3). Estes foram inseridos na modelagem e proporcionaram uma melhor aproximação entre a curva de dados levantados e a proveniente do modelo. Ainda, a fim de um melhor ajuste para a modelagem, foram introduzidos nas sequências rifte depósitos de debritos não interpretados nos poços, mas que foram indicadas a partir da variação das curvas de Anomalia Bouguer.

Poço	Intervalo	Densidade	Intervalo	Densidade	Intervalo	Densidade
Poço 1	240-340	2,244	390-455	2,277	470-530	2,291
Poço 2	620-807	2,344	-	-	-	-
Poço 3	210-390	2,226	790-810	2,387	1000-1020	2,432

Tabela 6.3: Densidade, em g/cm^3 , do interpretado no poços utilizados na construção da primeira seção. Intervalo de profundidade em metros.

O tempo sísmico relacionado ao topo do embasamento possui aproximadamente 1,4 segundo para o sudoeste da Linha Sísmica 3 (à esquerda na Figura 6.1). Lendo na seção gravimétrica construída a profundidade para o embasamento nessa mesma posição, temos

aproximadamente 1425 metros. Esses valores para a profundidade e para o tempo sísmico corresponderiam a 2035 m/s de velocidade intervalar para todo o preenchimento siliciclástico. Analisando os diferentes poços da área de estudo, o valor para velocidade intervalar variou entre 2100 m/s e 3200 m/s, caracterizando a velocidade intervalar definida a partir das seções sísmica e gravimétrica como adequada.

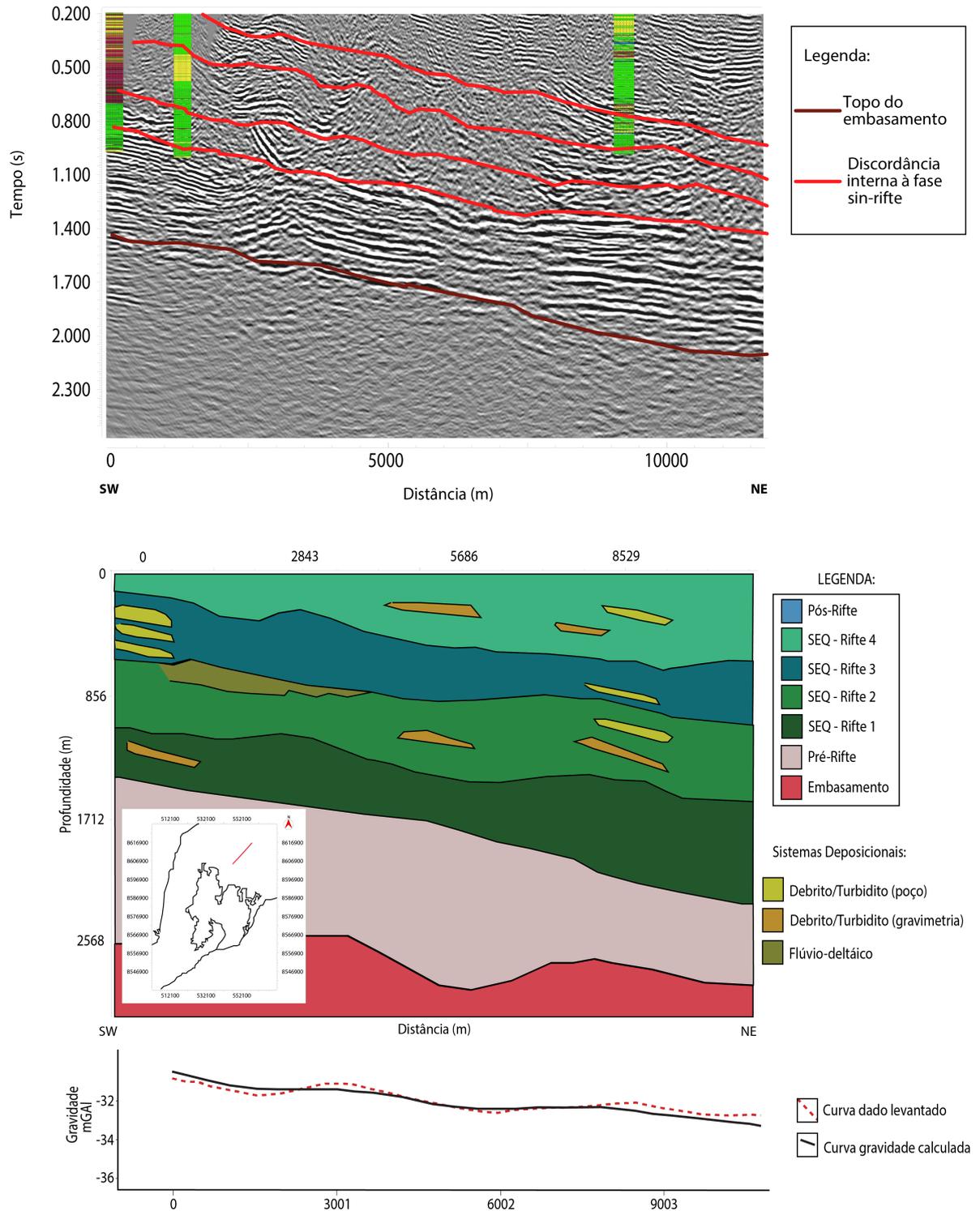


Figura 6.1: Seção Gravimétrica 1 com mapa localização apresentando contorno Baía de Todos os Santos. Apresentada também seção sísmica base para modelagem da Seção Gravimétrica 1. Notar o aumento da profundidade do topo do embasamento e das seqüências rifte interpretadas de SW para NE.

6.1.2 Seção 2: Seção Gravimétrica 2 - Linha Sísmica 4

Para a construção dessa seção foram utilizados os poços 4, 5, 6 e 7 nas posições de 1000 metros, 5600 metros, 9400 metros e 15000 metros, respectivamente e tendo como referência para essas posições a Linha Sísmica 4. Assim como na primeira seção, serão utilizadas tabelas para apresentar as superfícies demarcadas e também a densidades das sequências e dos preenchimentos flúvio-deltáicos e de debritos/turbiditos.

Novamente os valores da profundidade das superfícies de discordâncias foram lidos nas posições dos poços, para que pudesse ser obtido na unidade metro. O valor para a densidade das sequências e megassequências foi obtido do arquivo com extensão *.las* dos poços.

Superfície	Poço 4	Poço 5	Poço 6	Poço 7
DR-1	1141	-	1519	1783
DR-2	673	1104	1286	1453
DR-3	269	604	720	1140
DR-4	-	82	466	752
DPR	-	-	114	105

Tabela 6.4: Profundidade em metros das discordâncias interpretadas na sísmica referentes à posição de cada um dos poços da Seção 2.

	Poço 4	Poço 5	Poço 6	Poço 7
Pré-Rifte	-	-	2,420	2,42
Rifte 1	2,24	2,386	2,400	2,27
Rifte 2	2,20	2,360	2,360	2,29
Rifte 3	2,07	2,257	2,305	2,28
Rifte 4	-	2,250	2,240	2,22

Tabela 6.5: Densidade, em g/cm^3 , obtida nos poços para o Pré Rifte e para cada uma das sequências interpretadas na Seção 2.

Para a Seção Sísmica 4 (Figura 6.2) foi interpretada feição de *canyon*, mas que não foi bem demarcada na seção gravimétrica correspondente. Isso provavelmente se deve ao contraste baixo de densidade entre o litotipo que preencheu a estrutura erosiva e o que faz contato com ele lateralmente.

Ainda para a seção sísmica, pode ser notado variação de profundidade do embasamento (em torno da posição de 9 mil metros percebe-se uma variação de 300 ms) que também foi vista na Seção Gravimétrica 2 (Figura 6.2). Considerando o valor constantemente lido nos poços para a velocidade de onda acústica tendo como meio o preenchimento sedimentar,

Poço	Intervalo	Densidade	Intervalo	Densidade	Intervalo	Densidade
Poço 4	298-350	2,140	515-625	2,295	-	-
Poço 5	200-350	2,198	604-635	2,283	650-870	2,330
Poço 6	1420-1460	2,395	-	-	-	-
Poço 7	210-280	2,190	-	-	-	-

Tabela 6.6: Densidade, em g/cm^3 , do interpretado nos poços utilizados na construção da segunda seção. Intervalo de profundidade em metros.

3000 m/s, o valor de 300 ms lido na sísmica e o de 500 metros obtido na seção gravimétrica são correlacionáveis.

Além das informações obtidas das seções sísmicas e dos poços, foram adicionados na Seção Gravimétrica 2 depósitos de debrito/turbiditos no Rifte-3. Esses depósitos são descritos por Holz (2012) e permitiram um ajuste fino na seção gravimétrica.

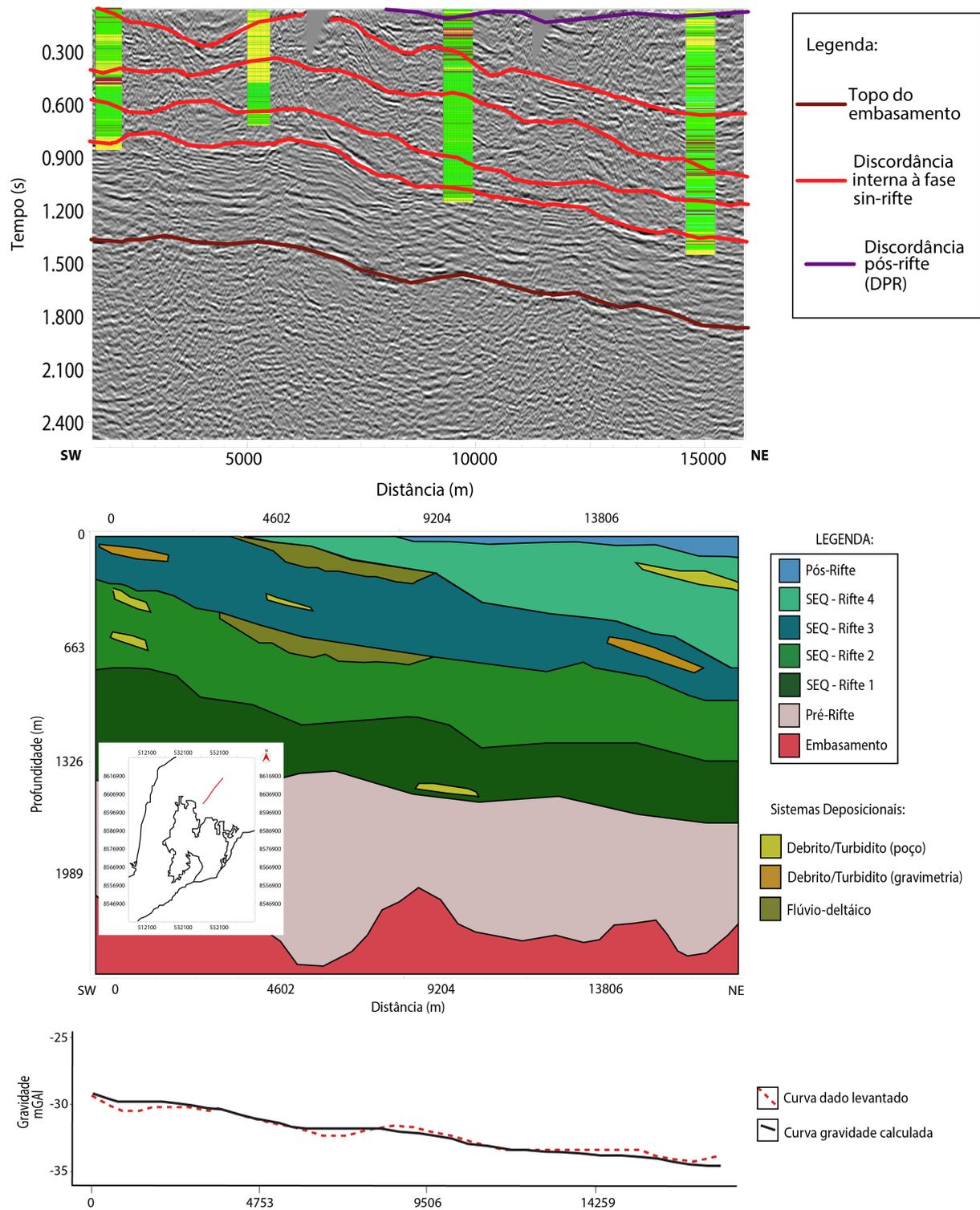


Figura 6.2: Seção Gravimétrica 2 com mapa localização apresentando contorno Baía de Todos os Santos. Pode-se notar a correlação entre as seções sísmica e gravimétrica vide análise do depocentro, ganho de profundidade das superfícies de discordância de SW para NE e análise da espessura para o Pré-Rifte e seqüências internas à Fase Rifte.

6.1.3 Seção 3: Seção Gravimétrica 3 - Linha Sísmica 5

Nessa seção utilizou-se o Poço 8, o Poço 9 e o Poço 10 nas posições de 500 metros, 7000 metros e 9000, respectivamente. A seguir os dados retirados apresentados em tabelas.

Superfície	Poço 8	Poço 9	Poço 10
DR-1	931	1181	-
DR-2	717	897	-
DR-3	440	460	-
DR-4	222	216	486
DPR	-	-	-

Tabela 6.7: Profundidade em metros das discordâncias interpretadas na sísmica referentes à posição de cada um dos poços da Seção 3.

	Poço 8	Poço 9	Poço 10
Pré-Rifte	-	2,237	-
Rifte 1	2,281	2,222	-
Rifte 2	2,326	2,151	-
Rifte 3	2,306	2,089	-
Rifte 4	2,303	2,034	2,336

Tabela 6.8: Densidade, em g/cm^3 , obtida nos poços para o Pré Rifte e para cada uma das sequências interpretadas na Seção 3.

Poço	Intervalo	Densidade	Intervalo	Densidade	Intervalo	Densidade
Poço 8	256-320	2,313	523-600	2,413	850-935	2,354
Poço 9	200-270	2,064	455-555	2,115	-	-
Poço 10	485-500	2,377	-	-	-	-

Tabela 6.9: Densidade, em g/cm^3 , do interpretado nos poços utilizados na construção da terceira seção. Intervalo de profundidade em metros.

Pode-se perceber uma correspondência entre as seções sísmica e gravimétrica ao analisar o aumento na profundidade do topo do embasamento de sudoeste para nordeste; o mesmo comportamento pode ser notado para o topo e/ou base das sequências rifte interpretadas nas seções sísmicas.

Na posição de aproximadamente dez mil metros tem-se o tempo sísmico relacionado ao topo do embasamento de 1,3 segundo; na seção gravimétrica, a essa mesma posição, o

embasamento está a cerca de 1800 metros de profundidade. Com a análise dos dados dessas seções, o valor para a velocidade intervalar seria de aproximadamente 2770 m/s, dentro do intervalo definido para o preenchimento sedimentar após lida a curva de vagarosidade nos poços presentes na área de estudo.

A análise feita sobre a esperada posição para o depocentro e a correlação entre o tempo sísmico registrado para determinadas superfícies de discordância e sua posição em profundidade advinda das seções gravimétricas, caracteriza a modelagem gravimétrica como adequada, assim como nas duas outras seções gravimétricas construídas.

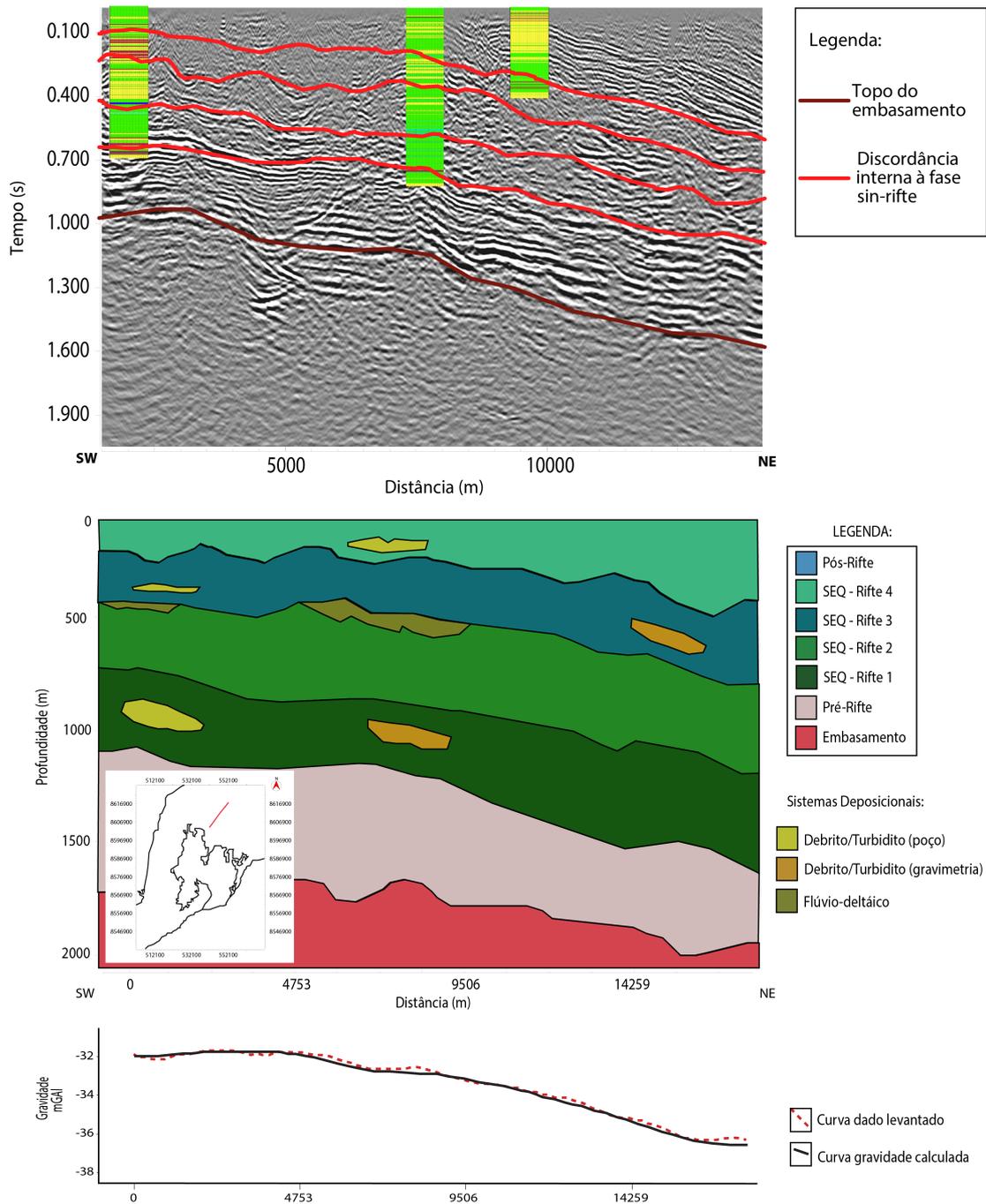


Figura 6.3: Seção Gravimétrica 3 com mapa localização apresentando contorno Baía de Todos os Santos. Valor em profundidade do embasamento, intervalo para velocidade intervalar do preenchimento siliciclástico e tempo lido na seção sísmica estão correlacionáveis, caracterizando como adequada a integração entre os métodos sísmico e gravimétrico. Verificar ainda as curvas que representam os dados calculados e os adquiridos para a Anomalia Bouguer.

6.2 Análise resultado de modelagem gravimétrica

A modelagem gravimétrica integrada a interpretação sísmica demonstrou o contraste de densidade entre os corpos em subsuperfície interpretados na sísmica. Na Seção Gravimétrica 2 não se encontra a feição de *canyon* interpretada na sísmica, demonstrando que nem todos os corpos e/ou unidades são correlacionáveis entre esses dois métodos. Deve-se ter em mente que são métodos geofísicos que respondem a propriedades físicas distintas e que não necessariamente diferem ao ocorrer mudança lateral no litotipo em subsuperfície.

Preenchimentos de fácies flúvio-deltáicas e de debritos foram inseridos nas seções gravimétricas, mas alguns destes não apresentavam contraste de densidade suficiente para causar variação da curva calculada do modelo. Ainda não apresentando esse contraste, como foi interpretado de poços, foram mantidos nas seções gravimétricas por se tratar de algo interpretado em dado direto obtido da subsuperfície.

Outros depósitos de debritos foram inseridos na modelagem para que se pudesse melhorar o ajuste entre a curva de dado levantado e a proveniente dos corpos inseridos na seção. Estes depósitos são esperados e comuns para ambientes tais quais a área de estudo.

Diferença na profundidade do embasamento verificados nas seções gravimétricas foram correlacionáveis com as seções sísmicas correspondentes, o que demonstrada a adequação entre a integração dos métodos. Vale observar que as seções referentes ao embasamento foram construídas anteriormente à interpretação sismoestratigráfica e posteriormente à decomposição espectral da Anomalia Bouguer.

Sendo observados estes fatos supracitados, os métodos integrados mostraram-se ora correlacionáveis ora complementares. Há exemplos onde o método gravimétrico não reconheceu feições (*canyon*, por exemplo), e em que complementou a interpretação na sísmica, introdução de depósitos de debritos, sendo, portanto, a integração de métodos uma atividade a ser encorajada.

Capítulo 7

Conclusões e Recomendações

A metodologia da inversão gravimétrica utilizada se mostrou acertada. Primeiramente, foram confeccionadas seções referentes ao embasamento para, posteriormente, ser dado o ganho de resolução via introdução das megassequências Pré-Rifte e Pós-Rifte e também das sequências internas à Fase Rifte.

A utilização dos poços foi imprescindível na etapa da interpretação sísmica e também na etapa de inversão gravimétrica; caracterizando dado direto como de fundamental importância no trabalho de interpretação e de inversão de dados geofísicos.

A utilização da Equação de Gardner se mostrou adequada e pode ser utilizada em contextos geológicos similares ao da área de estudo deste trabalho.

A interpretação sismoestratigráfica definiu quatro sequências para a Fase Rifte.

A inversão gravimétrica não apenas corroborou à interpretação sísmica como possibilitou uma ligação entre a seção sísmica, em tempo, e a gravimétrica, em profundidade. Além disso, a inclusão de corpos referentes à depósitos de debritos e a regiões de preenchimento por fácies flúvio-deltáicas deu um ganho de resolução e acrescentou informação onde a sísmica e os poços não puderam.

É aconselhado o reprocessamento das seções sísmicas, visando a interpretação dos Tratos Tectônicos e também uma melhor análise das sismofácies. No caso da análise das sismofácies, poderia ser feita discussão sobre o litotipo ao qual estaria relacionada após lido poços e interpretados perfis compostos.

Agradecimentos

O agradecimento é uma forma de reconhecimento ao que aprendi e que acabei por utilizar nesse trabalho. Acredito que as pessoas influenciam no comportamento e aprendizado de quaisquer outras com as quais tombou, então devo um agradecimento a todos: família, amigos, conhecidos e desconhecidos, guardadas as devidas proporções.

Gostaria primeiramente de agradecer a minha família pelo suporte, conselhos e compreensão. Aqui preciso falar de meus irmãos, em ordem cronológica: Paty, a letróloga, meio doidinha, mas com certo juízo; André, o típico mais velho que me mostrou os caminhos, embora eu não tenha seguido todos (não sou adventista como ele, mas sou muito grato por ter um irmão que seguiu os ensinamentos de Maria Anita); Andrey, que precisa tomar jeito, mas que tem um grande potencial; e Kaian, o mais novo e a quem espero poder ajudar assim que receber os R\$ 40.000 que me foi prometido.

Gostaria de agradecer também aos meus pais; sem eles, literalmente, eu não existiria. Quero ainda nesse parágrafo falar dos pilares da minha formação como pessoa: Maria Anita, Valter (não é por coincidência o meu nome) e Vivaldina.

Aos meus tios, tias, primos e primas, por tolerarem minhas peculiaridades (não saio todas as vezes que me chamam por misto de preguiça e obrigações, mas espero agora dedicar mais tempo a vocês). Não esquecendo que um membro da família me apresentou às geociências, meu tio Paulinho.

Aos meus amigos de infância, com os quais não tenho contato, mas que merecem ser aqui citados. Aos amigos de colégio que ficaram pra vida: DD, Morg, Flavão, Ramon, Sandro, Samile, Duda, Daniela, Lucas, Paloma, Helenice, Letícia, Márcia, Ana, Sabrina e Bruno. Aos amigos, em geral (não citarei nomes por motivo de ser certa a falha de memória).

Preciso dedicar um parágrafo, claro, a minha turma (acho que o “geofamily” pode entrar nesse parágrafo também). Eu, sinceramente, não esperava conhecer pessoas tão incríveis; espero não perder o contato de vocês e prometo sempre dizer sim aos encontros (desse modo evitaríamos a chatice que sei ser marcar alguma coisa). Nem todas as pessoas que merecem ser lembradas estão nesse grupo citado, então gostaria de destacar também o “carrilhão”, vocês são loucos, sou a cota dos normais, mas são também incríveis. Dedico a Lucas, Yan,

Maia e Tainã. Dedico a Paloma, Priscilla e Lara. Dedico a Ian, Montenegro, Isis e Adilson. Dedico a Fabrício, Flávio, Joãos e Johann. Dedico a todos (se não citei, perdão).

Devo agradecimento também à professora Alanna Dutra, que me cedeu os dados gravimétricos utilizados nesse trabalho.

A Equipe/Time GETA. Posso dizer que sou outra pessoa. Melhorei não só como estudante (aprendi muito com vocês, nas reuniões e nos papos extracurriculares); mas também como pessoa. Inclusive, estou exercitando falar mais, sei que esse talvez seja o pior dos meus defeitos (gostaria de deixar registrado que, com um pouco de esforço, posso compartilhar minhas ideias).

Ao meu co-orientador, que disse sim às minhas ideias e aceitou me ajudar nesse trabalho sem nem eu tentar direito.

Ao meu orientador, espero que você leia essa parte também, por ter me feito crescer (ao apontar meus erros ou não apontando), ter aceitado esse tema e ter também me selecionado pro GETA; hoje sei o quanto teria perdido, se não entrasse.

A quem não sabe exatamente se isso foi escrito pra agradecer-lhe, com certeza, foi.

Devo agradecimento a muitos e, com certeza, acabarei esquecendo de alguns, mas, a todos, OBRIGADO.

Referências

- Adegas, F.; Scherer, C. M. e Born, C. (2012) Arcabouço estratigráfico da Formação Sergi (Jurássico Superior) na Bacia de Almada, Bahia, *Revista Brasileira de Geociências*, **42**(suppl. 1):2–19.
- Blakely, R. J. (1996) *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge University Press.
- Catuneanu, O. (2006) *Principles of sequence stratigraphy*, Elsevier.
- Chopra, S. e Marfurt, K. J. (2005) Seismic attributes: A historical perspective, *Geophysics*, **70**(5):3S0–28S0.
- Cruz, L. R. (2008) *Caracterização tectono-estratigráfica da sequência transicional na sub-bacia de Sergipe*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Destro, N. (2002) *Falhas de alívio e de transferência: O significado tectônico e econômico no rifte do recôncavo-tucano-jatobá, NE Brasil*, Federal University of Ouro Preto, Brazil, PhD, 173p.
- Gardner, G.; Gardner, L. e Gregory, A. (1974) Formation velocity and density: The diagnostic basics for stratigraphic traps, *Geophysics*, **39**(6):770–780.
- Gawthorpe, R. e Leeder, M. (2000) Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins, *Basin Research*, **12**(3-4):195–218.
- Holz, M. (2012) *Estratigrafia de sequências–histórico, princípios e aplicações*, Rio de Janeiro, Editora Interciência.
- Holz, M.; Vilas-Boas, D. B.; Troccoli, E. B.; Santana, V. C. e Vidigal-Souza, P. A. (2017) Conceptual models for sequence stratigraphy of continental rift successions, In: *Stratigraphy & Timescales*, vol. 2, pp. 119–186, Elsevier.
- Küchle, J. (2010) *Análise tectono-estratigráfica de bacias rifte*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Küchle, J. e Scherer, C. (2010) Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo, *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **18**(2):33–60.

-
- Payton, C. E. (1977) Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration, vol. 26, American Association of Petroleum Geologists Tulsa, OK.
- Prosser, S. (1993) Rift-related linked depositional systems and their seismic expression, Geological Society, London, Special Publications, **71**(1):35–66.
- Silva, O. B. d.; Caixeta, J. M.; Milhomem, P. d. S. e Kosin, M. D. (2007) Bacia do Recôncavo, Boletim de Geociências da Petrobrás, **15**(2):423–431.
- Talwani, M. (1964) Computation of magnetic anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary shape, Computers in the mineral industries, **1**:464–480.
- Talwani, M.; Worzel, J. L. e Landisman, M. (1959) Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino Submarine Fracture Zone, Journal of Geophysical Research, **64**(1):49–59.
- Taner, M. T.; Koehler, F. e Sheriff, R. (1979) Complex seismic trace analysis, Geophysics, **44**(6):1041–1063.
- Todoran, G.; Holonec, R. e Iakab, C. (2008) Discrete Hilbert transform. Numeric algorithms, Mediamira Science Publisher, **49**(4):485–490.
- Troccoli, E. B. (2015) Sismoestratigrafia em bacias rifte e análise de atributos sísmicos e filtros na interpretação de dados 2D e 3D na Bacia do Recôncavo, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Vilas-Boas, D. B. R. (2016) Correlação sismoestratigráfica entre as bacias do Recôncavo e de Camamu, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.