



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Gabriella Rocha Gouveia

**Caracterização Sísmica das Falhas de Transferência na Bacia de Campos.**

Rio de Janeiro

2016

Gabriella Rocha Gouveia

**Caracterização Sísmica das Falhas de Transferência na Bacia de Campos.**

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

Orientador: Prof. Dr. Webster Ueipass Mohriak

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/CTC/C

G719 Gouveia, Gabriella Rocha.  
Caracterização sísmica das falhas de transferência na Bacia de Campos /  
Gabriella Rocha Gouveia. – 2016.  
113 f. : il.

Orientador: Webster Ueipass Mohriak.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Geologia.  
Bibliografia.

1. Geologia estutural – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 2. Bacias (Geologia)  
- Campos, Bacia de (RJ) - Teses. 3. Sismologia - Campos, Bacia de (RJ) -  
Teses. 4. Geodinâmica Rio de Janeiro (RJ) – Teses. I. Mohriak, Webster  
Ueipass. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geologia.  
III. Título.

CDU 551.243(815.3)

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

---

Assinatura

---

Data

Gabriella Rocha Gouveia

**Caracterização Sísmica das Falhas de Transferência na Bacia de Campos.**

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

Aprovada em 30 de maio de 2016.

Orientador: Prof. Dr. Webster Ueipass Mohriak

Faculdade de Geologia– UERJ

Banca Examinadora: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Webster Ueipass Mohriak (Orientador)

Faculdade de Geologia - UERJ

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. *Sérgio Bergamaschi*

Faculdade de Geologia - UERJ

\_\_\_\_\_  
Dr. Andres Gordon

AGC|G&G Consultora

Rio de Janeiro

2016

## AGRADECIMENTOS

A Deus, digno de toda honra.

Aos meus pais que sempre me apoiaram em meus sonhos.

À minha irmã, por ser minha maior companheira para dividir momentos de alegria e dificuldade.

Ao professor Dr. Webster Mohriak, por se dispor na orientação deste trabalho.

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro, ao CAPES, à CPRM e à ANP por financiarem e/ou cederem os dados para realização dessa pesquisa.

A todos os professores, colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho. Em especial, aos professores Sérgio Bergamaschi e Marcelo Salomão, ao Dr. Andres Gordon e aos colegas do laboratório de Sismoestratigrafia e da sala da pós, Isabela, Priscila, Thaís, Adriana, Thamila, Stephanie, Gabriela, Elaine e ao saudoso Alex.

A todos meus amigos e familiares que compreenderam meus momentos de ausência, mas sempre estiveram comigo quando possível, em especial meu tio Nailton e a Rafa, que me abrigaram diversas vezes em sua casa quando precisei.

Enfim, a todos aqueles que, mencionados aqui ou não, contribuíram para realização de mais essa etapa da minha vida, meu muito obrigada.

A ciência nos dá o conhecimento do mundo e a fé nos dá o significado

Adaptado de *Michael Keller*

## RESUMO

GOUVEIA, Gabriella Rocha. **Caracterização Sísmica das Falhas de Transferência na Bacia de Campos**. 2016. 113f. Dissertação (Mestrado em Análise de Bacias e Faixas Móveis) –Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

A Bacia de Campos é uma bacia de margem passiva localizada na costa sudeste brasileira, limitada pelo alto de Cabo Frio a sul e pelo alto de Vitória a norte. Esta bacia se desenvolveu ao longo do processo de abertura do supercontinente Gondwana. O estudo de elementos estruturais através de levantamentos sísmicos regionais é uma excelente ferramenta na compreensão da geodinâmica de uma bacia. Neste contexto, a caracterização e análise de falhas de transferência é extremamente importante a fim de delimitar a distribuição regional dos depocentros da bacia. Falhas de transferência são falhas transtensivas que transferem ou acomodam as diferentes taxas de estiramentos à qual setores crustais são submetidos durante o processo de rifteamento. O objetivo deste estudo foi caracterizar estas falhas através de métodos potenciais, como, gravimetria e magnetometria, e a compreensão destes elementos em dados sísmicos. Além disso, imagens de satélite SRTM 90m foram utilizadas com o intuito de mapear lineamentos transversais na parte *onshore* da bacia. Zonas de transferência, em sua maioria, são paralelas a extensão do vetor principal da geometria do rifte. Na margem sudeste brasileira, o eixo principal foi EW e WNW-ESE, sendo estes elementos subordinados à esta direção. Dados de poços foram utilizados para geração de sismogramas sintéticos a fim de que se estabelecesse uma cronocorrelação com os principais horizontes. Dados de sísmica 2D foram usados para mapear as principais estruturas, como: mini-bacias, falhas sintéticas e antitéticas, estruturas em flor, grabens, *horsts* e estruturas halocinéticas. As falhas de transferência foram identificadas com base na observação de descontinuidades nos dados de gravimetria, lineamentos magnéticos de alta amplitude e pela presença de estruturas em flor, falhas verticais a subverticais, inversão do rejeito e mudanças abruptas na espessura das camadas nas seções sísmicas. Através desses dados, possibilitou-se a identificação de um grupo de oito falhas transversais principais na Bacia de Campos. Os domínios estruturais foram subdivididos de acordo com esses setores, influenciando também a arquitetura do sal na bacia. A maioria das falhas foi reativada até camadas mais jovens. Neste trabalho também é feita uma comparação entre os resultados obtidos para a Bacia de Campos com as relações estabelecidas em estudos anteriores da Bacia de Santos, que focaram nas estruturas do rifte e nos lineamentos transversais observados na parte *onshore* da margem continental. Esta relação também foi estabelecida na Bacia de Campos, onde os lineamentos de direção NW-SE se prolongam da região continental em direção à bacia e adentram também a região de crosta oceânica.

Palavras-chave: Falhas de Transferência. Zonas de Transferência. Caracterização Sísmica. Bacia de Campos.

## ABSTRACT

GOUVEIA, Gabriella Rocha. *Seismic Characterization of Transfer Faults in the Campos Basin, offshore Brazil*. 2016. 113f. Dissertação (Mestrado em Análise de Bacias e Faixas Móveis) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

The Campos Basin is a passive margin basin located at the southeastern Brazilian coast, limited by the Cabo Frio High to the south, and by the Vitoria High to the north. This basin evolved during the rifting process of the Gondwana supercontinent in the Late Jurassic / Early Cretaceous, which led to a final break-up by Late Aptian / Early Albian. The study of structural elements by regional seismic analysis is an efficient tool to understand tectonic dynamics. In this context, the characterization and analysis of transfer faults are extremely important to delineate the regional distribution of basin depocenters. Transfer faults are transtensive faults that transfer the displacement between two crustal sectors during different extensional strain. The objective of this study is to characterize these faults using potential methods such as gravimetric and magnetic surveys and a comprehensive seismic data analysis. In addition, STRM 90m satellite images were used in order to map a trend for transversal lineaments observed on the onshore basement. Transfer zones are mostly parallel to the main extensional vector on rift geometries. For the southeast coast of Brazil, the main structural axes strike EW and WNW-ESE, and these elements are trending subordinated to this direction [3]. Well log data was used to create synthetic seismograms and to establish a chronocorrelation with the main horizons. 2D seismic data was used to map the most important structures, such as, mini-basins, synthetic and antithetic faults, flower structures, grabens, horsts and halokinetic structures. The transfer faults were tentatively identified based on discontinuities observed from gravimetric data, linear magnetic anomalies with high amplitude and by flower structures, vertical to subvertical dips, inversion of throw and abrupt changes in the thickness of the layers observed from the 2D seismic data. It was possible to identify a group of eight main transverse faults in the Campos Basin, which segment the basement and the basin depocenters into different compartments and sectors. The structural domains are divided according to these sectors, and influence the salt behavior within the basin. Most of the faults were reactivated after the rift phase, affecting younger sedimentary layers. This work also compares the results obtained for the Campos Basin with relationships established in previous works in the Santos Basin, which focused on the rift structures and the transversal lineaments observed in the onshore segment of the continental margin. This relationship can also be observed in the Campos Basin, where the NW trend of onshore lineaments extends towards the offshore basin and advances towards the oceanic crust region.

Keywords: Transfer faults. Transfer Zones. Seismic Characterization. Campos Basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da área de estudo.....	17
Figura 2 -	Fluxograma de tratamento para os dados de Gravimetria.....	19
Figura 3 -	Fluxograma do tratamento para os dados Magnéticos.....	19
Figura 4 -	Linhas de voo do levantamento magnético.....	20
Figura 5 -	Mapa do Campo Magnético Total com correção IGRF a partir do canal nivelado.....	21
Figura 6 -	Gríde para remoção de feições regionais não geológicas nas direções NW(a) e NE(b).....	22
Figura 7 -	Fluxograma de tratamento de dados de sísmica 2D.....	23
Figura 8 -	Mapa de localização dos dados de sísmica e poço solicitados junto ao BDEP.....	24
Figura 9 -	Efeito do filtro TecVA, destacando os principais horizontes, estruturas e corpos de sal.....	26
Figura 10 -	Calibração do perfil sônico do poço 1RJS0307RJ.....	27
Figura 11 -	Sismograma Sintético do poço 1RJS0307RJ na linha 02390363.....	27
Figura 12 -	Fluxograma para o tratamento de imagens de satélite.....	28
Figura 13 -	Imagens SRTM adquiridas junto ao <a href="http://www.webmapit.com.br">www.webmapit.com.br</a> .....	29
Figura 14 -	Geometria primária de Zonas de Transferência.....	31
Figura 15 -	Esquema de Classificação das zonas de transferência com base na interação entre as falhas.....	32
Figura 16 -	Diagrama esquemático exemplificando o tipo de interação entre elementos transferentes.....	32
Figura 17 -	Modelo análogo desenvolvido para simulação da formação de zonas de transferência.....	34
Figura 18 -	Representação de uma zona de transferência.....	35
Figura 19 -	Diagrama esquemático exemplificando a geometria de estruturas em flor negativa e positiva.....	36
Figura 20 -	Elementos de caracterização de Falhas de Transferência na Bacia do Recôncavo, nordeste do Brasil.....	36

Figura 21 - Zonas de transferência mapeadas com base em levantamentos gravimétricos.....	48
Figura 22 - Três estágios evolutivos das zonas de fratura em margens cisalhadas.....	39
Figura 23 - Zonas de Fratura Oceânica em mapa magnetoestratigráfico de isócronas.	
Figura 24 - As idades variam de mais recentes em vermelho às mais antigas em verde.....	39
Figura 25 - Modelo de evolução tectônica durante o processo de separação de um continente até a formação de uma bacia de margem passiva.....	41
Figura 26 - Modelo conceitual para evolução do sistema de rifte pobre em magma.....	42
Figura 27 - Perfil esquemático da Bacia de Campos com as supersequências separadas de acordo com os estágios evolutivos.....	43
Figura 28 - Compartimentação tectônica do sudeste do Brasil.....	45
Figura 29 - Lineamentos NE-SW e NW-SE mapeados na porção nordeste da Faixa Ribeira.....	46
Figura 30 - Perfis do poço 1RJS 0192RJ exibindo os horizontes marcados nas linhas sísmica 2D e sua correspondência na Carta Estratigráfica da Bacia de Campos.....	50
Figura 31 - Principais feições estruturais da Bacia de Campos. ....	52
Figura 32 - Mapas gerados à partir dos dados magnéticos cedidos pela ANP.....	55
Figura 33 - Mapa com filtro DPSA para destaque de <i>trends</i> de direção NW-SE.....	56
Figura 34 - Mapa Magnético RTP .....	57
Figura 35 - Mapa de profundidade das fontes magnéticas a partir do Sinal Analítico..	58
Figura 36 - Mapa regional de anomalias gravimétricas com correção Ar-Livre.....	59
Figura 37 - Mapa regional de anomalias gravimétricas com correção <i>Bouguer</i> regional.....	60
Figura 38 - Filtro de continuação pra cima no mapa de anomalias gravimétricas <i>Bouguer</i> para 3000m.....	61
Figura 39 - Filtro de continuação para cima no mapa de anomalias gravimétricas <i>Bouguer</i> para 30000m.....	61
Figura 40 - Mapa de anomalia residual gravimétrico.....	62

Figura 41 -	Seção dos poços usados na amarração das linhas sísmica 2D.....	65
	Correlação litológica do poço 1RJS0307RJ já amarrado com a linhas sísmica 2D 02390363 com os respectivos horizontes mapeados.....	66
Figura 42 -	Seção Sísmica da Linha 00660009.....	67
Figura 43 -	Exemplos de estruturas relacionadas à movimentação halocinética na Bacia de Campos.....	70
Figura 44 -	Domínios Tectônicos Halocinéticos, representados na linha SPP992225 de direção NW-SE.....	71
Figura 45 -	Mapa de anomalia bouguer residual (a) e do CMT reduzido ao pólo (b)...	72
Figura 46 -	Linhas Sísmica 02390363 exemplificando a correlação entre gravimetria, magnetometria e os altos e baixos do embasamento.....	73
Figura 47 -	Linha Sísmica SPP992231 exemplificando as feições magmáticas associadas a altos e baixos relacionados ao embasamento.....	74
Figura 48 -	Feições estruturais indicativas de falhas e zonas de transferência em linhas <i>strike</i> .....	76
Figura 49 -	Seções sísmicas na porção sul da Bacia de Campos de direção NE- SW.....	77
Figura 50 -	Seções sísmicas na porção norte da Bacia de Campos de direção NE- SW.....	78
Figura 51 -	Mapa do topo do Embasamento em tempo.....	80
Figura 52 -	Mapa do topo da seção correspondente à Base do Sal.....	81
Figura 53 -	Mapa em tempo do topo do Cretáceo.....	82
Figura 54 -	Mapa em tempo do topo do Oligoceno.....	82
Figura 55 -	Mapa da superfície em tempo do topo do Mioceno Inferior.....	83
Figura 56 -	Elementos de interesse mapeados nas imagens de satélite.....	84
Figura 57 -	Lineamentos de direção NNE-SSW.....	85
Figura 58 -	Lineamentos de direção NW-SE.....	85
Figura 59 -	Mapa de anomalia <i>bouguer</i> com os lineamentos correspondente aos <i>worms</i> mais significativos.....	87
Figura 60 -	Seções sísmicas em tempo na direção NW-SE .....	90
Figura 61 -	Mapa de espessura entre o Embasamento e o fundo do mar .....	91
Figura 62 -	Linhas sísmicas paralelas à linha de costa da bacia mostrando as principais Falhas de Transferência mapeadas na porção Norte.....	92

Figura 63 - Linhas sísmicas paralelas à linha de costa da bacia mostrando as principais Falhas de Transferência mapeadas na porção Norte e na porção Sul.....	93
Figura 64 - Linhas sísmicas paralelas à linha de costa da bacia mostrando as principais Falhas de Transferência mapeadas na porção Sul.....	94
Figura 65 - Mapas em tempo mostrando a diferença na evolução das feições da porção norte e da porção sul.....	96
Figura 66 - Mapa de espessura do rifte em tempo.....	97
Figura 67 - Mapa regional de espessura do sal.....	98
Figura 68 - Tipos de zonas de transferência em sistemas com falhamentos lístricos.....	99
Figura 69 - Modelo exemplificando o tipo de interação de falhas secundárias em interações convergentes para zonas de transferência.....	100
Figura 70 - Falhas de Transferência representadas nas seções sísmicas, convergindo em direção às zonas de fratura oceânica.....	101
Figura 71 - Mapa topográfico.....	102
Figura 72 - Mapa gravimétrico(a) e de contorno estrutural da base do sal(b) na Bacia de Kwanza.....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados Magnetométricos cedidos pelo BDEP.....	18
Tabela 2	Levantamento gravimétrico disponibilizado pelo BDEP.....	19
Tabela 3	Segmentos sísmicos adquiridos junto ao BDEP e ao ano do levantamento.....	24
Tabela 4	Poços adquiridos junto ao BDEP.....	25

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	<b>Objetivos</b> .....	16
1.2	<b>Localização</b> .....	16
1.3	<b>Métodos, procedimentos e materiais</b> .....	17
1.3.1	<u>Métodos Potenciais</u> .....	18
1.3.1.1	Magnetometria.....	20
1.3.1.2	Gravimetria.....	22
1.3.2	<u>Levantamento Sísmico e Correlação com Poços</u> .....	23
1.3.3	<u>Imagens de Satélite</u> .....	28
2	<b>ZONAS E FALHAS DE TRANSFERÊNCIA</b> .....	30
2.1	<b>Definição</b> .....	30
2.2	<b>Classificação</b> .....	31
2.3.1	<b>Mecanismo de Formação</b> .....	33
2.3.2	<b>Identificação</b> .....	33
2.5	<b>Exemplos do segmento divergente da margem continental</b> .....	37
2.6	<b>Zonas de Fratura</b> .....	38
3	<b>GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	40
3.1	<b>Evolução Tectônica</b> .....	40
3.2	<b>Arcabouço Estratigráfico</b> .....	44
3.2.1	<u>Embasamento</u> .....	44
3.2.1.1	Província Mantiqueira e Orógeno Ribeira.....	44
3.2.2	<u>Supersequência Rifte</u> .....	47
3.2.3	<u>Supersequência Pós-Rifte</u> .....	47
3.3.3	<u>Supersequência Drifte</u> .....	48
3.3	<b>Aspectos Estruturais</b> .....	51
4	<b>INTERPRETAÇÃO DE DADOS</b> .....	53
4.1	<b>Métodos Potenciais</b> .....	53
4.1.1	<u>Magnetometria</u> .....	54
4.1.2	<u>Gravimetria</u> .....	58
4.2	<b>Perfis de Poços</b> .....	62

4.3	<b>Linhas Sísmicas 2D</b> .....	66
4.4	<b>Mapas de Superfície em Tempo</b> .....	79
4.5	<b>Imagens de Satélite</b> .....	83
5	<b>DISCUSSÃO</b> .....	87
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	104
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	106

## 1 INTRODUÇÃO

A redução nos preços dos barris de petróleo traz uma perspectiva diferente para as pesquisas relacionadas a esse campo de estudo, sendo cada vez mais importante um conhecimento preciso das áreas geológicas de interesse exploratório afim de mitigar prejuízos neste período de preços reduzidos. Além disso, no meio acadêmico cada vez mais têm-se discutido a importância do estudo de estruturas do embasamento e as reativações relacionadas à processos evolutivos em bacias sedimentares, de forma a facilitar a compreensão do passado geológico. Para esse estudo, a compreensão da evolução da bacia de Campos em relação à separação do paleo-continente Gondwana se encaixa nesse contexto.

A fase de quebra do continente foi facilitada por estruturas pré-existentes do terreno pré-cambriano e pela reativação de zonas de fraqueza. O processo de extensão do embasamento envolveu falhamentos normais associados com o desenvolvimento de *half-graben* e com controle dos depocentros por falhas antitéticas. O *trend* principal das estruturas presentes na Bacia de Campos é NE-SW, porém em levantamentos gravimétricos observa-se a segmentação desse *trend* por estruturas transversais, são as zonas de transferência, que segundo Souza (2007) são feições que têm sua origem relacionada ao embasamento. Estas estruturas foram mapeadas por Meisling *et al.*(2001) e são provenientes da acomodação dos esforços extensionais durante o processo de abertura do oceano Atlântico.

O estudo da interferência da movimentação das falhas de transferência e sua relação com a presença de hidrocarbonetos têm crescido, especialmente porque essas falhas podem controlar a tectônica, sedimentação, soerguimento, trapeamento e migração dos hidrocarbonetos (SOUZA *et al.*, 2007). Ainda, segundo Mohriak *et al.*(2008), alguns falhamentos que afetam o sal e as rochas sobrepostas parecem estar relacionados a estruturas do embasamento, tais como zonas de transferência reativadas.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo a identificação através de imagens de radar, métodos sísmicos e potenciais, a caracterização e uma melhor compreensão da evolução tectônica das Falhas de Transferência na Bacia de Campos.

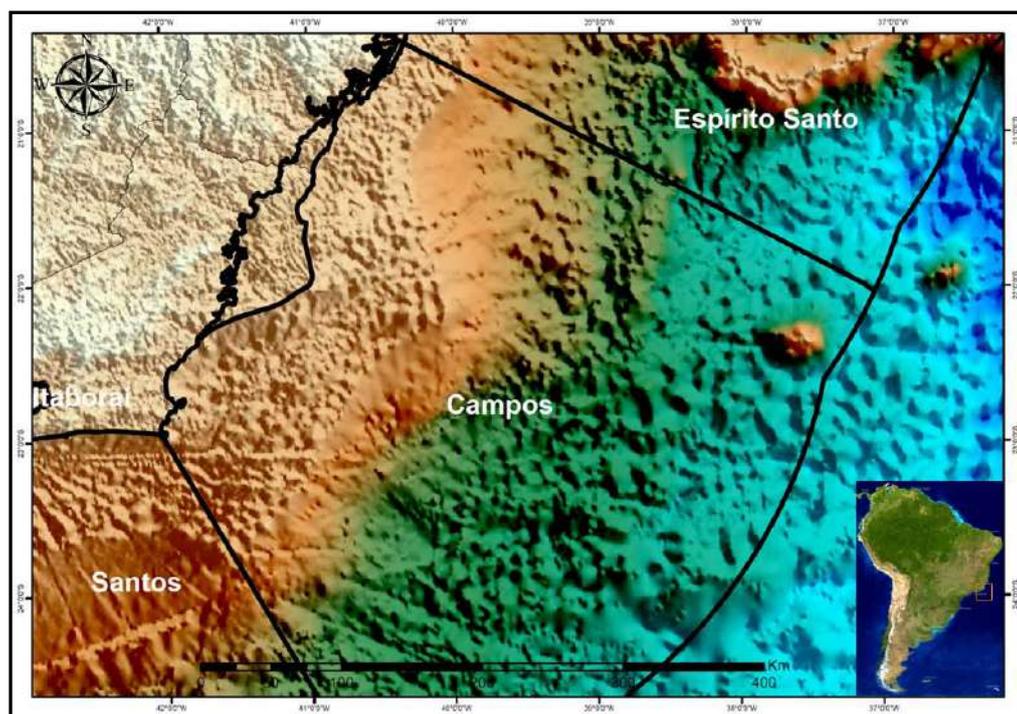
Com base nessa importância do estudo das falhas de transferência e através da integração multidisciplinar de métodos geológicos e geofísicos, um primeiro objetivo seria o rastreamento e mapeamento dessas feições através de imagens de satélite, métodos potenciais (gravimetria e magnetometria), análise de linhas sísmicas regionais e a descrição detalhada das características desses elementos estruturais visando a proposição de um modelo tectônico.

Seguindo a etapa de interpretação, tem-se por objetivo a definição de domínios estruturais regionais, possivelmente segmentados por essas estruturas e compreender melhor a evolução tectônica da fase rifte da Bacia de Campos, determinando períodos de reativação desses elementos e a relação com a tectônica halocinética.

## 1.2 Localização

A Bacia de Campos está localizada no litoral sudeste brasileiro, entre os estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, é limitada pelo Alto de Cabo Frio a sul e pelo Alto de Vitória a norte e estende-se por cerca de 102.000 km<sup>2</sup>, 6500 km<sup>2</sup> na parte terrestre e 95500 km<sup>2</sup> na parte marítima, até a cota batimétrica de 3000m (WINTER *et al.*, 2007; ANP, 2015).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: A autora (2016).

### 1.3 Métodos, procedimentos e materiais

Antes da etapa de aquisição de dados, foi feito um vasto levantamento bibliográfico sobre zonas e falhas de transferência, evolução tectônica da Bacia de Campos, efeito da reativação de estruturas do embasamento em bacias de margem passiva, além de uma revisão do que já foi constatado e previamente interpretado em relação a esses aspectos e elementos transversais tanto na Bacia de Campos quanto em outras bacias de margem divergente.

Os métodos de investigação utilizados neste estudo consistem basicamente na análise de métodos indiretos: imagens de satélite, métodos potenciais (gravimetria e magnetometria) e linhas sísmicas regionais 2D. Também foram utilizados resultados de métodos diretos (perfuração de poços) para a calibração da interpretação sísmica, principalmente para os refletores do topo e base do sal, topo do rifte e embasamento.

### 1.3.1 Métodos Potenciais

Os métodos potenciais foram as primeiras ferramentas de investigação utilizadas. Esses dados foram adquiridos junto ao Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP) e ao TOPEX, Universidade de San Diego. O dado de fonte aeromagnetométrica integrado neste projeto pertence ao levantamento app270 da Bacia de Campos (Tabela 1), já os dados de gravimetria são do levantamento da Plataforma Continental Campos e Espírito Santo e Campos-São Paulo (p49a53 e p0121, respectivamente - Tabela 2). Os dados de gravimetria (Figura 2) e magnetometria (Figura 3) foram carregados no programa Geosoft Oasis Montaj 6.2.

Na primeira etapa de processamento, constatou-se que os dados gravimétricos fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) não poderiam ser utilizados pois não possuíam linhas de voo suficientes para adensamento de um *grid* confiável. Desta forma, foram adquiridos dados provindos do TOPEX. Através destes, visou-se o mapeamento de descontinuidades dos altos e baixos gravimétricos, caracterizando assim possíveis falhas de transferência.

Tabela 1 - Dados Magnetométricos cedidos pelo BDEP/ANP.

<b>Nome do levantamento</b>	Bacia de campos
<b>Tipo</b>	AR
<b>Ano do levantamento</b>	1990/91
<b>Extensão em km</b>	73286
<b>Status da gravimetria</b>	NÃO
<b>Status da magnetometria</b>	SIM
<b>Intervalo</b>	100 m
<b>Altura</b>	500 m
<b>Direção das linhas de voo</b>	NNW-SSE
<b>Intervalo</b>	3000 m
<b>Confidencialidade</b>	PUBLICO
<b>Tipo de aquisição</b>	PRE-98
<b>Titularidade</b>	PUBLICO
<b>Área em km<sup>2</sup></b>	200000

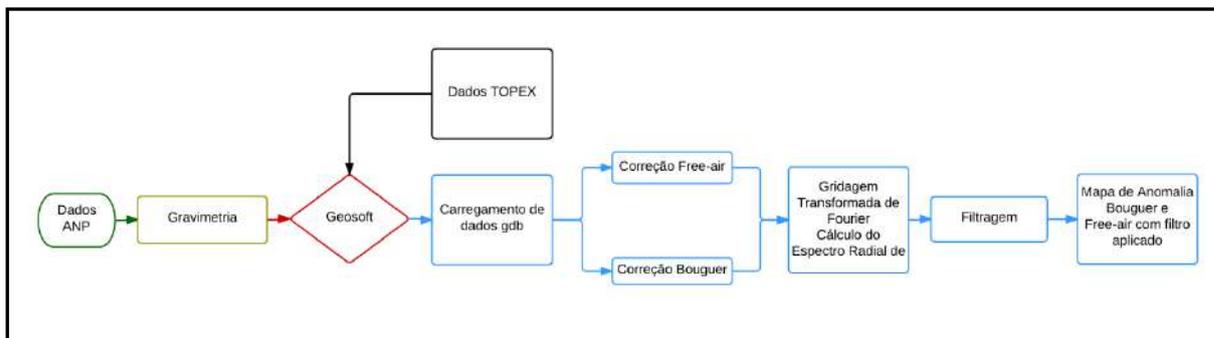
Fonte: A autora(2016).

Tabela 2 - Levantamento gravimétrico disponibilizado pelo BDEP/ANP.

<b>Nome do levantamento</b>	Platcontcamposespirito santop49a53	Camposp0121
<b>Equipe</b>	ES-066	ES-239
<b>Tipo</b>	MAR	MAR
<b>Ano do levantamento</b>	1981	1990
<b>Extensão em km</b>	11299	1733
<b>Status da gravimetria</b>	SIM	SIM
<b>Status da magnetometria</b>	SIM	SIM
<b>Intervalo</b>	250m	150m
<b>Direção das linhas de voo</b>	NNE-SSW	
<b>Intervalo</b>	20 a 35 km	
<b>Confidencialidade</b>	Público	Público
<b>Tipo de aquisição</b>	PRE-98	PRE-98
<b>Titularidade</b>	Público	Público
<b>Área em km<sup>2</sup></b>	175995	148697

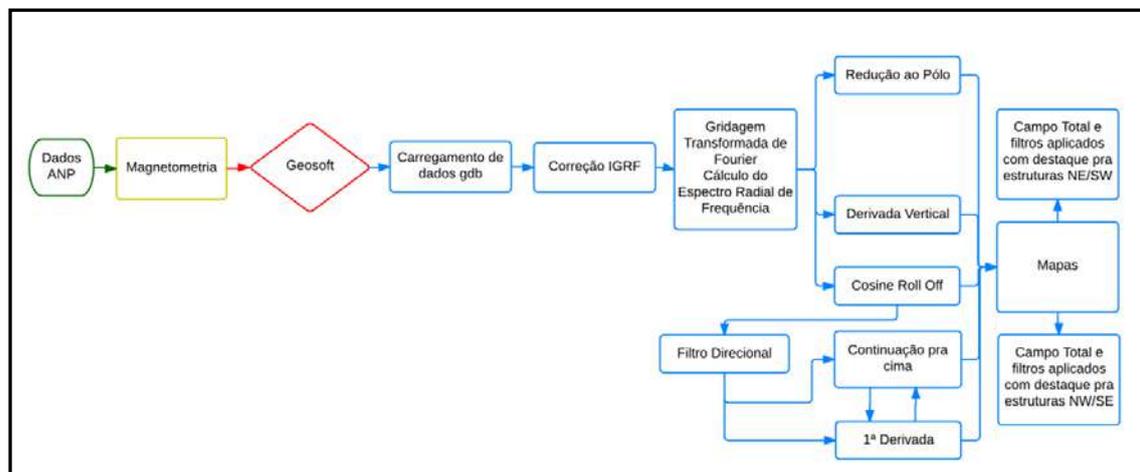
Fonte: A autora(2016).

Figura 2 - Fluxograma de tratamento para os dados de Gravimetria.



Fonte: A autora (2016).

Figura 3 - Fluxograma do tratamento para os dados Magnéticos.



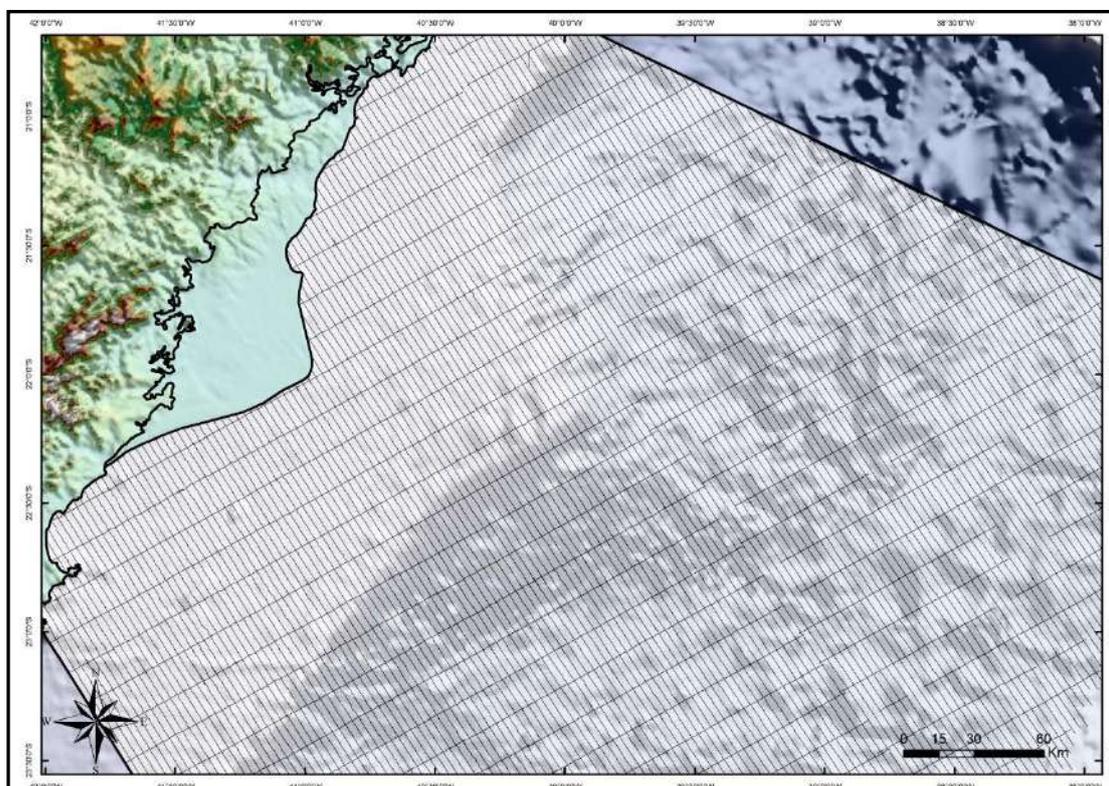
Fonte: A autora (2016).

### 1.3.1.1 Magnetometria

Para o presente estudo, os dados processados foram de um levantamento offshore. Para estes, em um primeiro momento realizou-se o micronivelamento, afim de reduzir os efeitos do levantamento. O vôo do levantamento aeromagnético cedido pela ANP teve direção N30W, com espaçamento entre linhas de controle de três mil metros e com altura de 500m (Figura 4), enquanto o espaçamento das linhas de vôo foi de 100 metros. O banco de dados forneceu os dados magnéticos sem correção; com correção IGRF, que corresponde à correção referente à latitude, removendo o efeito de um campo magnético Regional causado por fontes profundas não-crustais através de harmônicas; e correção diurna, determinada pela intersecção de pontos no plano de levantamento (Kearey *et al.*, 2013).

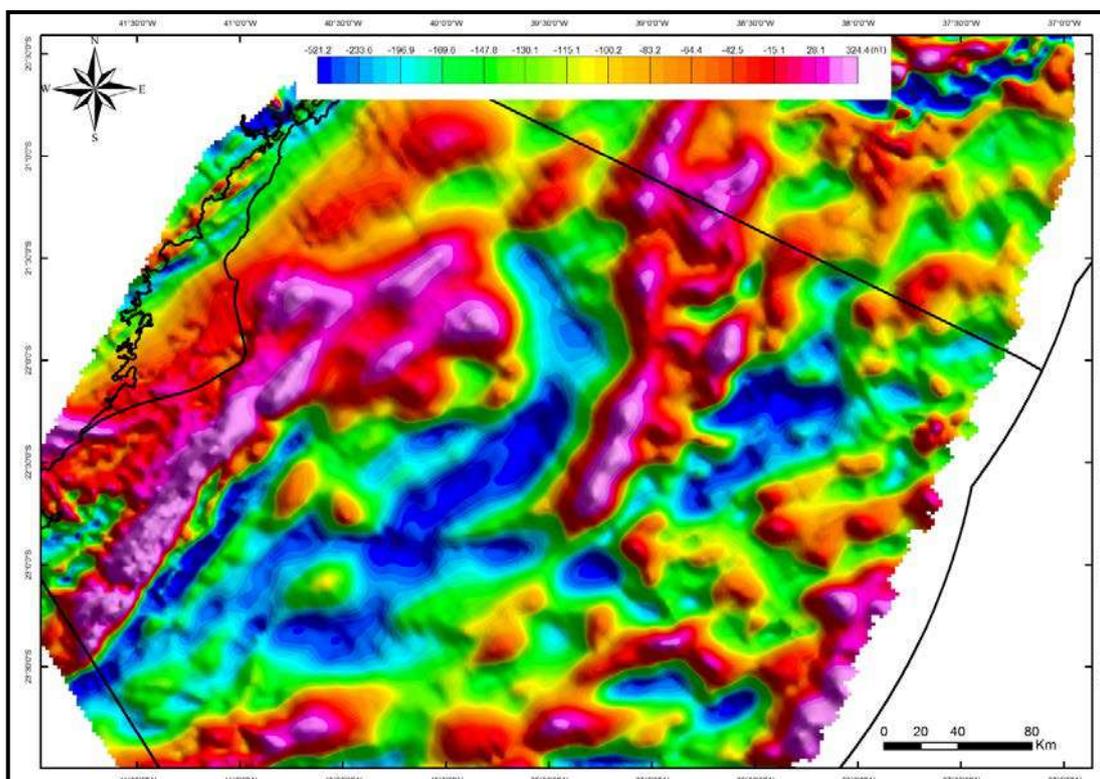
Primeiramente, foram gridados os canais já nivelados, os quais não forneceram um bom resultado, sendo evidenciado o *trend* de interferência da linha de voo (Figura 5).

Figura 4 - Linhas de voo do levantamento magnético.



Fonte: A autora (2016).

Figura 5 - Mapa do Campo Magnético Total com correção IGRF a partir do canal nivelado.

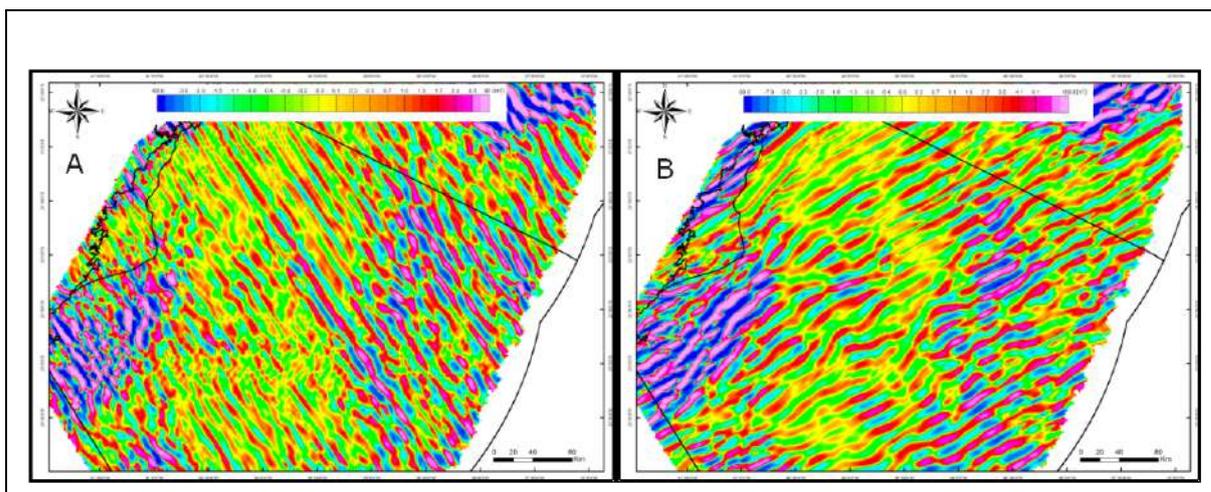


Fonte: A autora (2016).

Afim de que fosse retirada a interferência de resoluções de alta frequência pela falta de nivelamento, foram utilizados dois filtros: *Butterworth* e *DirectionalCosine*.

O filtro *Butterworth* é bastante usado para correções de corte de alta ou baixa frequência, fixando, porém, o número de ondas central. Para este caso em específico foram utilizados valores para correção passa-baixa. Os dados de entrada utilizados foram *Cutoff Wavelength* de dois mil, sendo o indicado quatro vezes o espaço entre as linhas de voo, e ordem de filtragem igual a 8, sugerido pelo tutorial. Já para o *DirectionalCosine*, tem como função remover feições direcionais, fazendo com que o *grid* obtenha características menos rugosas referentes à interferência de feições não-geológicas. Foram utilizadas duas direções diferentes de azimute, que acompanham a direção paralela ao levantamento: 150 e 60, correspondente às direções noroeste (Figura 6a) e nordeste (Figura 6b), respectivamente; e o grau da função do cosseno de 0.8. A partir destes filtros foram gerados dois *grids* que foram subtraídos do *grid* do campo magnético total, gerando assim o *grid* nivelado, que será apresentado nos resultados dessa dissertação.

Figura 6 - Gride para remoção de feições regionais não geológicas nas direções NW(a) e NE(b).



Fonte: A autora (2016).

Uma nova ferramenta foi introduzida afim de melhor caracterizar lineamentos com base nesses dados. O *worm* é uma ferramenta aplicada através da utilização do software *Intrepid Geophysics, GeoModeller*. Este método baseia-se no cálculo de estimativas imparciais das mudanças abruptas nas propriedades físicas das rochas. Assume-se que a posição máxima no gradiente horizontal do dado gravimétrico ou magnético representa a borda das fontes dos corpos. Essas máximas podem ser detectadas e mapeadas como pontos que interligados conjecturam lineamentos (FITZGERALD, 2013).

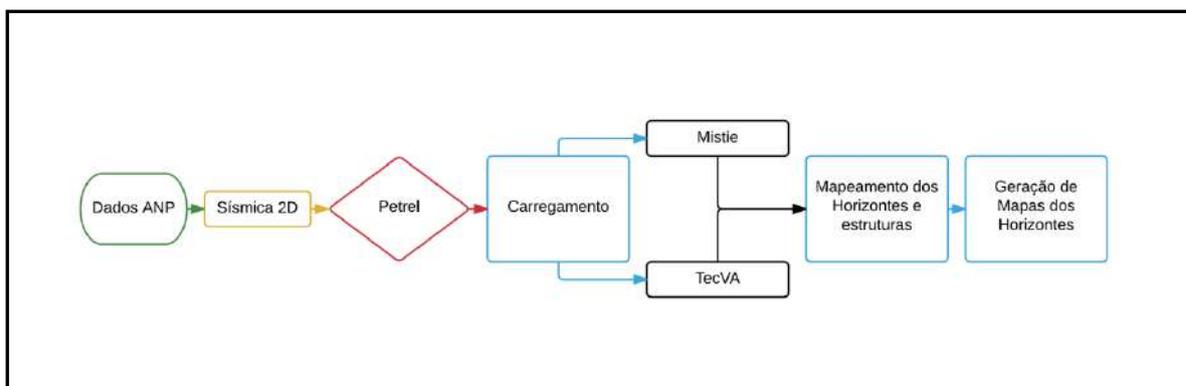
### 1.3.1.2 Gravimetria

Os dados gravimétricos, foram extraídos da base de dados da Universidade de San Diego para os limites 15°-26°S e 30°-42°W, na parte *offshore* da Bacia de Campos. A metodologia aplicada para este dado foi usada para remover a influência de fontes muito profundas, limitando as interpretações aos dados que envolviam o embasamento. Para isso, foram aplicados diversos filtros na gravimetria *Bouguer*, como por exemplo o de continuação para cima. Além disso também foi elaborado um mapa com os dados gravimétricos *free-air*. Ambos os mapas com as devidas correções e filtros serão apresentados nos resultados.

### 1.3.2 Levantamento Sísmico e Correlação com Poços

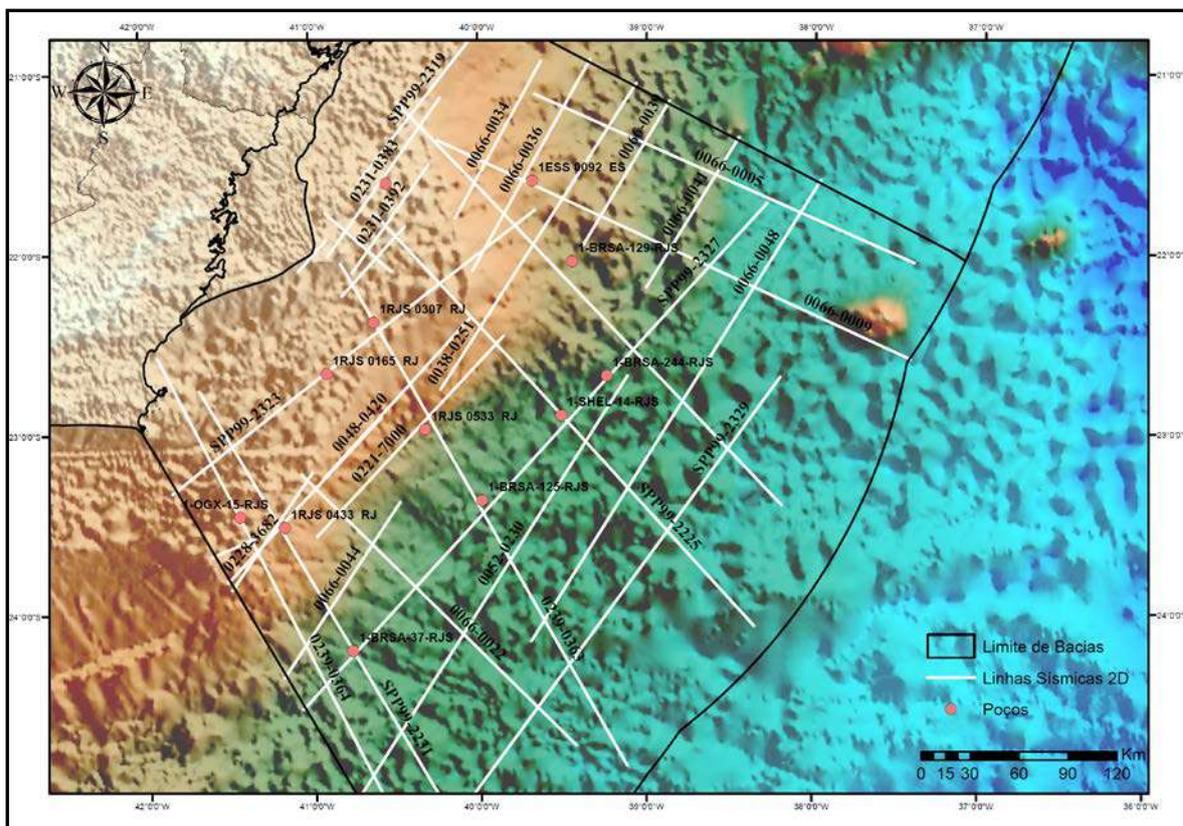
O segundo conjunto de dados estudados foram os dados do levantamento sísmico 2D (Figura 7), no qual foram adquiridas 30 linhas sísmicas de caráter regional (Figura 8-Tabela 3). Essas linhas foram utilizadas no mapeamento dos principais horizontes, no mapeamento das estruturas do embasamento, na constatação da reativação dessas mesmas estruturas e na distinção de possíveis domínios da bacia. Para que fosse estabelecida uma cronocorrelação dos principais horizontes e idades de reativação, foram requeridos 12 poços, também junto à ANP, contendo perfis compostos, *checkshot*, arquivo geral de poço (AGP) e quatro perfis de poço, sendo eles: perfil sônico, perfil de densidade, raio gama e resistividade (Tabela 4). Tais dados foram interpretados no Laboratório de Sismoestratigrafia da UERJ, utilizando-se os *softwares* Trace e Petrel.

Figura 7 - Fluxograma de tratamento de dados de sísmica 2D.



Fonte: A autora(2016).

Figura 8 - Mapa de localização dos dados de sísmica e poço solicitados junto ao BDEP/ANP.



Fonte: A autora (2016).

Tabela 3 - Segmentos sísmicos adquiridos junto ao BDEP/ANP e o ano do levantamento.

Segmento	Ano	Segmento	Ano
0048-0420	1980	0239-0364	-
SPP99-2329	2003	0052-0230	2001
0066-0044	2001	0231-1332	-
0066-0039	2001	0201-0148	2003
0038-0251	1973	0228-3682	-
0066-0048	2001	0066-0042	2001
0066-0041	2001	0231-0383	-
0201-0177	1982	0066-0034	2001
SPP99-2225	2003	0231-0392	-
SPP99-2323	2003	0056-0430	1980
0066-0005	2001	SPP99-2223	2003
SPP99-2327	2003	0066-0022	1981
0221-7000	2001	0239-0363	2001
SPP99-2231	2003	0066-0009	2001
0066-0036	2001	SPP99-2319	2003

Fonte: A autora (2016).

Tabela 4 - Poços adquiridos junto ao BDEP/ANP.

Poço	Latitude	Longitude
1RJS 0307 RJ	-22,3945194444	-40,6264611111
1-BRSA-129-RJS	-22,0606277778	-39,4446916667
1ESS 0092 ES	-21,6112333333	-39,6777722222
1RJS 0192 RJ	-21,6232416667	-40,5457777778
1-BRSA-37-RJS	-24,2188194444	-40,7695444444
1-BRSA-244-RJS	-22,6963250000	-39,2393500000
1-OGX-15-RJS	-23,4699333333	-41,4375166667
1-BRSA-125-RJS	-23,3883638889	-39,9881694444
1-SHEL-14-RJS	-22,9156472222	-39,5109666667
1RJS 0533 RJ	-22,9923138889	-40,3246000000
1RJS 0433 RJ	-23,5291055556	-41,1713055556
1RJS 0165 RJ	-22,6773083333	-40,9090305556

Fonte: A autora(2016).

Um método utilizado para melhor identificação de elementos estruturais e variações laterais das sismofáceis nas linhas sísmica foi o filtro de Técnica de Volume de Amplitude (TecVA - Figura 9), que é obtido através do tratamento de amplitude de dados de sísmica baseado no conceito de Sismo Camada Elementar (SCE). Ele consiste em algumas etapas: a primeira é a aplicação do atributo RMS com melhor ajuste à janela, que é a velocidade que horizontaliza as hipérboles; depois é feita a mudança de fase (*phase-shift*) de menos noventa graus(BULHÕES, 2005).

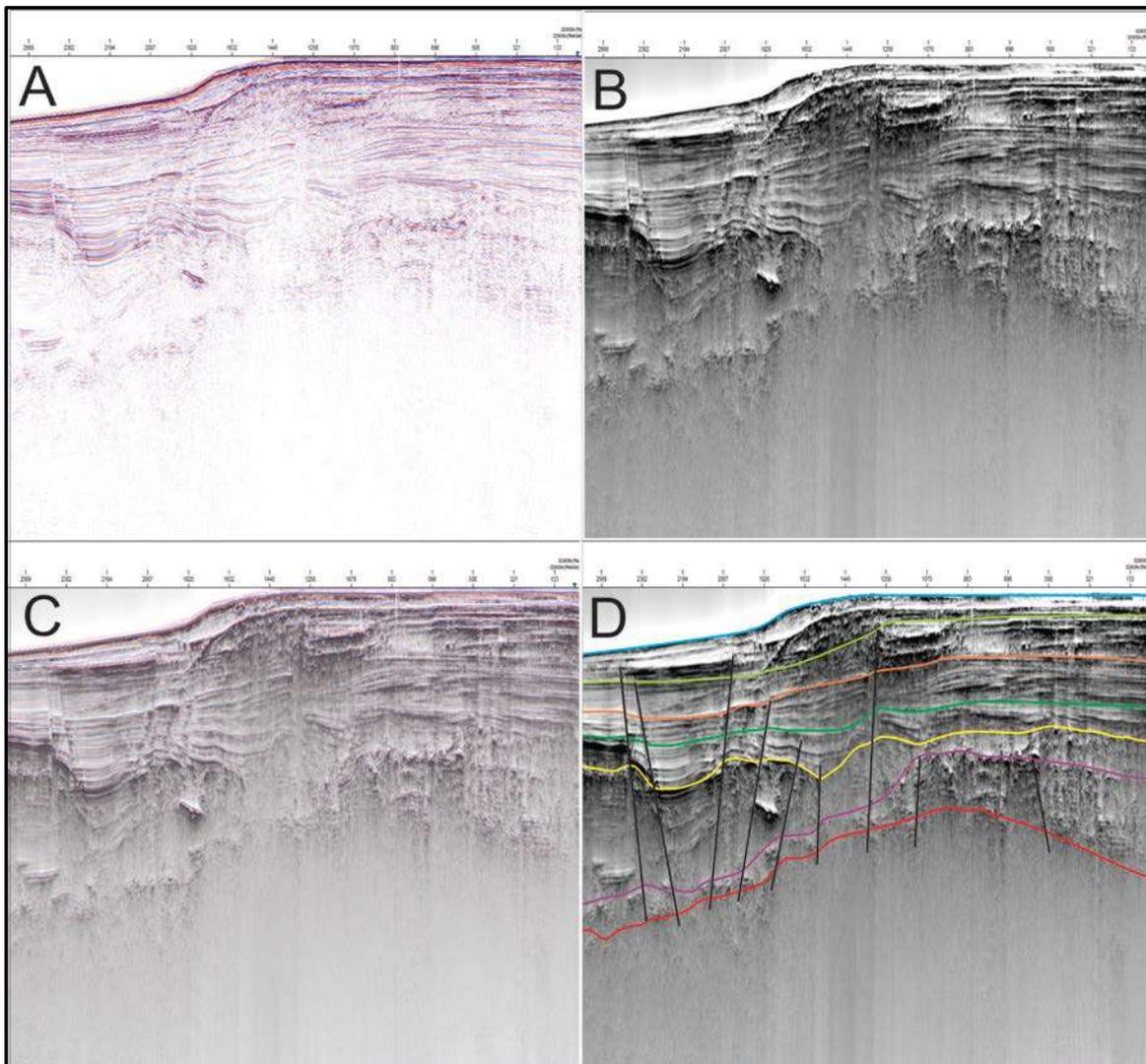
Como citado anteriormente, os 12 poços requeridos foram utilizados na amarração com os principais horizontes através da geração de sismogramas sintéticos. Esses sismogramas são gerados através do cálculo do coeficiente de reflexão a partir de perfis sônico e densidade.

Usando os dados de *checkshot*, o primeiro passo é a calibração do perfil sônico (Figura 10). Para este trabalho, os *checkshots* estavam em OWT(*one way time*). Foi feito um controle de qualidade dos mesmos, assim como dos perfis de poço, com a finalidade de remover possíveis picos anômalos não condizentes com a amarração.

Após o processo de calibração do perfil sônico, é gerado o sismograma sintético. Para este estudo, utilizou-se o método determinístico para extração da *wavelet*, esse tipo de extração usa tantos dados da sísmica quanto dados de poço que contenham informações sobre o conteúdo da frequência e as características da fase sísmica, representando a *wavelet* real ao invés de uma numérica idealizada (Figura 11).

Depois de gerado, este é usado na comparação com um coeficiente de reflexão real de um dado sísmico 2D.

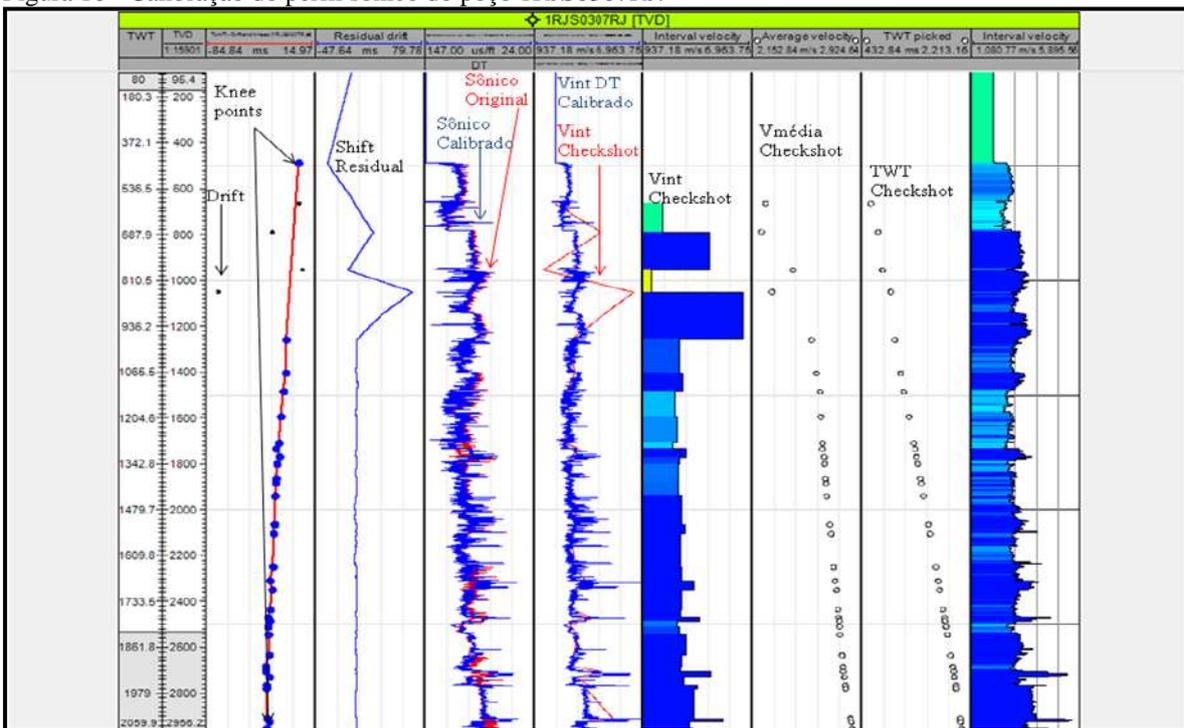
Figura 9 - Efeito do filtro TecVA, destacando os principais horizontes, estruturas e corpos de sal.



Legenda: a) Sísmica sem filtro; b) TecVA; c) Composição de transparência com o filtro; d) Interpretação final.

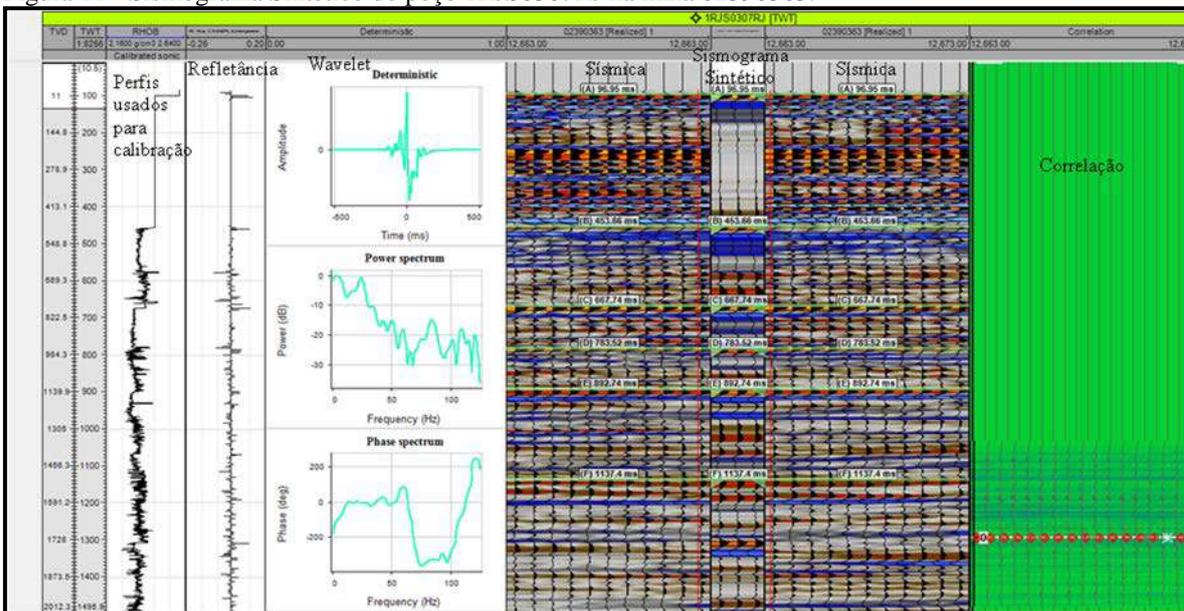
Fonte: A autora(2016).

Figura 10 - Calibração do perfil sônico do poço 1RJS0307RJ.



Fonte: A autora (2016).

Figura 11 - Sismograma Sintético do poço 1RJS0307RJ na linha 02390363.

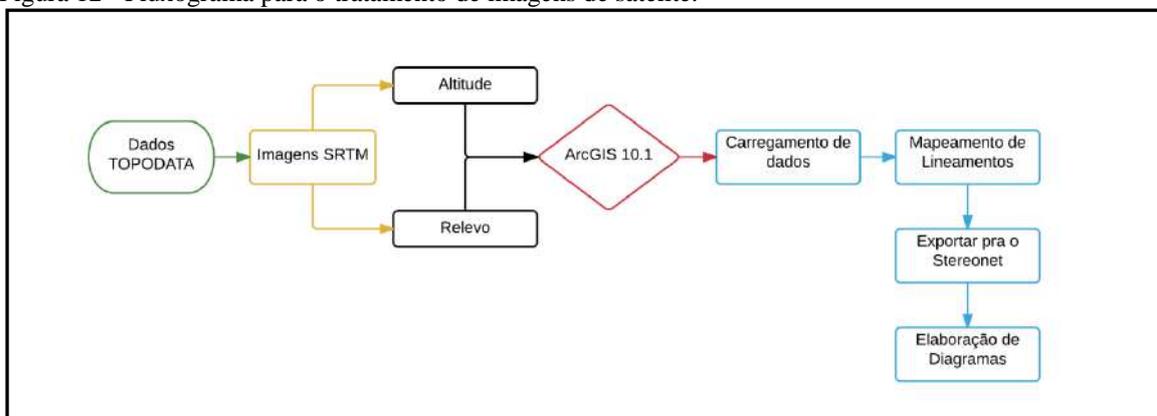


Fonte: A autora (2016).

### 1.3.3 Imagens de Satélite

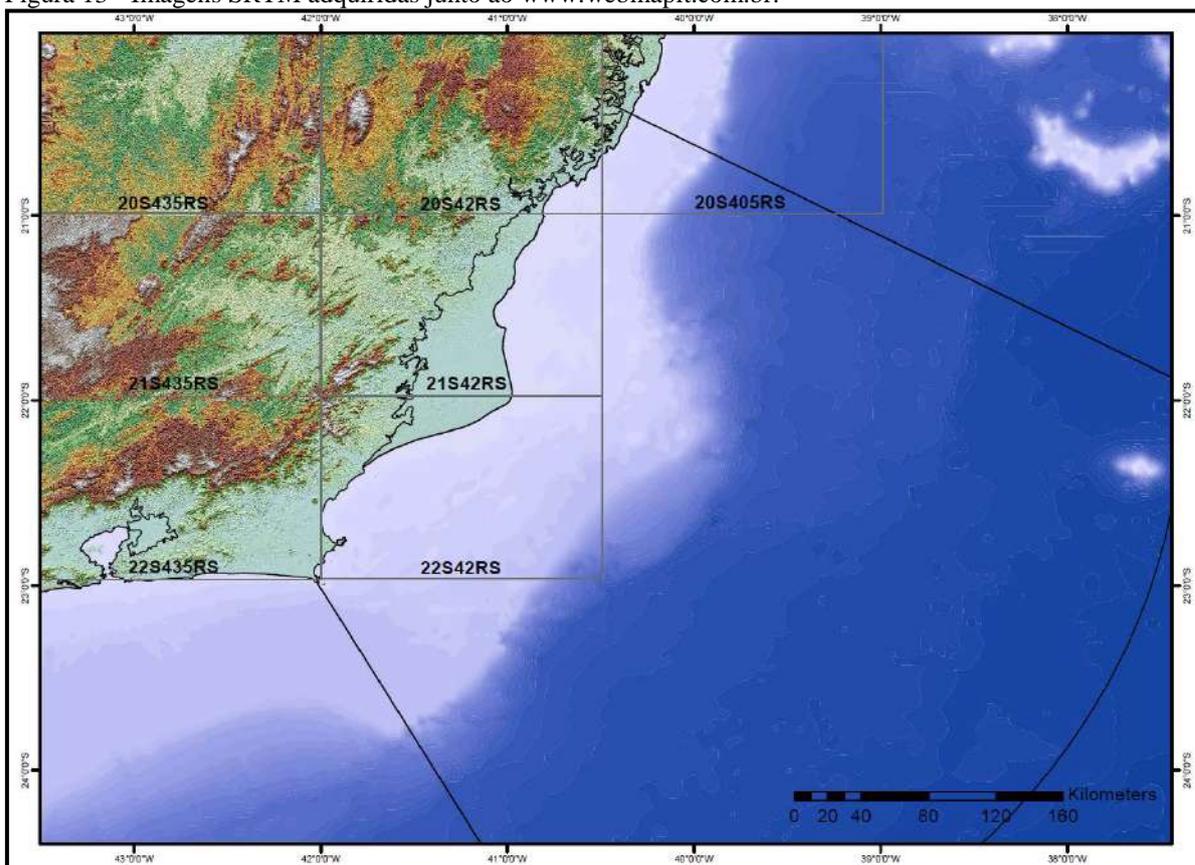
Por último, a fim de auxiliar na correlação entre os *trends onshore* e *offshore*, foram utilizadas imagens de satélite (Figura 12). Para isto, foram adquiridas no site [www.webmapit.com.br](http://www.webmapit.com.br) sete imagens de radar SRTM com resolução de 30 metros que fazem parte do projeto TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Este projeto oferece o Modelo Digital de Elevação e suas derivações mais básicas. Para este estudo, foram utilizados relevo e altitude, a partir dos dados fornecidos pelo site da USGS (*United States Geological Service*). Esses dados foram analisados no ArcGIS 10.1 no Laboratório de Geofísica Exploratória (LAGEX) da UERJ. Após o mapeamento doselementos que caracterizavam esses lineamentos, um tratamento da direção das estruturas foi feito no *Stereonet* a fim de identificar os principais *trends* do embasamento (Figura 13).

Figura 12 - Fluxograma para o tratamento de imagens de satélite.



Fonte: A autora (2016).

Figura 13 - Imagens SRTM adquiridas junto ao [www.webmapit.com.br](http://www.webmapit.com.br).



Fonte: A autora(2016).

Após o estudo integrado dos dados acima mencionados, propôs-se a caracterização das falhas de transferência.

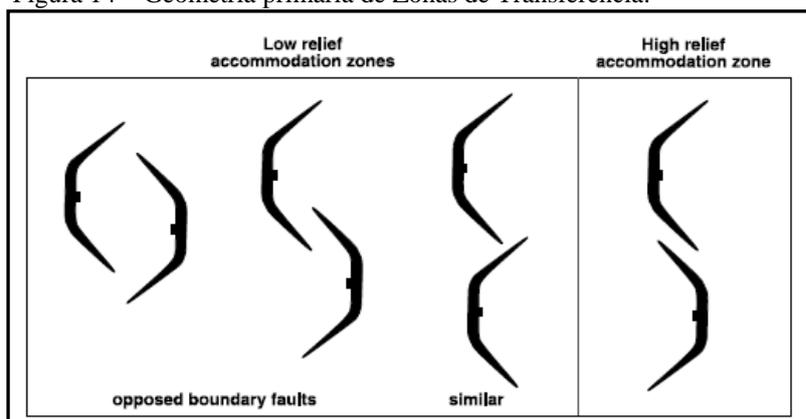
## 2 ZONAS E FALHAS DE TRANSFERÊNCIA

### 2.1 Definição

As zonas de transferência foram primeiro definidas por Dahlstrom (1970) como estruturas com terminações sobrepostas que permitiam a conservação ou uma leve mudança no encurtamento. King (1978) as descreveu como rampas de alívio que transferem a deformação em ambientes extensionais. Estudos mais detalhados sobre zonas de transferência em ambientes divergentes se iniciaram em 1984 por GIBBS, onde foram classificadas como zonas de acomodação. Em 1986, estes elementos foram melhor caracterizados por Rosendahl *et al.* (1987), no Lago Tanganayika no Sistema de Riftes do leste Africano. Estes autores observaram que essas estruturas marcavam a mudança da geometria dos riftes ao longo do eixo principal, caracterizado especialmente pela assimetria de meio-grábens. De acordo com a disposição das estruturas, as zonas de acomodação foram subdivididas em *high-relief* e *low-relief* (Figura 14). A primeira sendo definida onde dois lados pouco profundos de um meio-gráben se encontram, caracterizando um baixo estrutural, enquanto que a segunda corresponde a um alto do embasamento onde dois meio-grábens mergulham em direções opostas. Essas zonas ainda poderiam estar conectadas por uma falha do tipo *strike-slip*, dividindo o rifte em subprovíncias (ROSENDAHL, 1987; MORLEY *et al.*, 1990).

Em 1990, Morley *et al.*, realizaram um trabalho no mesmo local, porém destacando as zonas de transferência e sua relevância para exploração de hidrocarbonetos. Eles definiram zonas de transferência como um sistema de coordenadas de elementos deformados conservando os esforços extensionais regionais. Peacock *et al.* (2000) definiram falhas de transferência como uma falha transtensiva subvertical de alto ângulo que transfere o deslocamento entre dois setores adjacentes crustais submetidos à esforços extensionais distintos.

Figura 14 – Geometria primária de Zonas de Transferência.



Fonte: MORLEY (1999).

## 2.2 Classificação

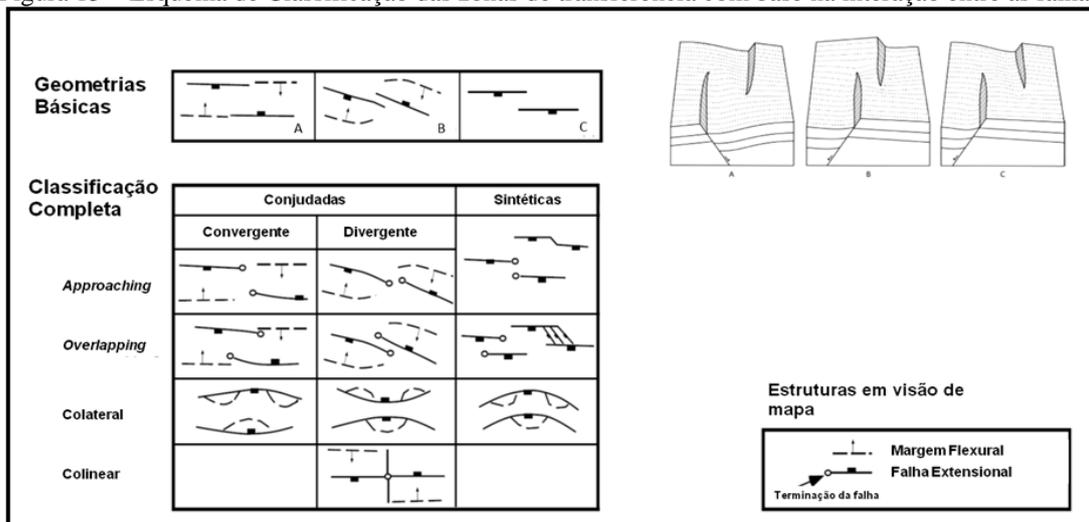
Em 1999, Morley, apresentou um sistema de classificação baseado em três fatores distintos: direção e mergulho das falhas principais; se as falhas mergulham uma em direção à outra ou para direções opostas; e o tipo de interação entre as terminações das falhas (Figura 15).

A distinção inicial seria entre zonas do tipo conjugadas e sintéticas. A primeira seria caracterizada quando as falhas mergulham em direções opostas, enquanto a segunda seria quando ambas mergulham para a mesma direção. Uma subdivisão foi proposta para zonas conjugadas também relacionada à direção de mergulho. Se as falhas mergulham uma em direção à outra, estas são chamadas de convergente, em casos onde esses elementos mergulham para direções opostas elas são chamadas de divergente.

Tanto zonas conjugadas como sintéticas ainda apresentam uma classificação quanto à interação nas terminações das falhas. Quando a terminação de uma falha está próxima à da outra é chamada de *approaching*, quando as terminações interagem paralelamente, porém de forma parcial, estas são chamadas de *overlapping* enquanto as que estão dispostas inteiramente paralelas umas às outras são chamadas de colaterais.

Os tipos de conexões das zonas de acomodação ainda trazem uma classificação diferente para esses elementos. Quando há uma interação com estruturas como *relay ramps*, estes são chamados de *soft-linked*. Já quando essa ligação é feita através de uma falha *strike-slip* é chamado de *hard-linked*. As interações que caracterizam essas zonas podem gerar diferentes feições, algumas dessas são apresentadas na figura 16.

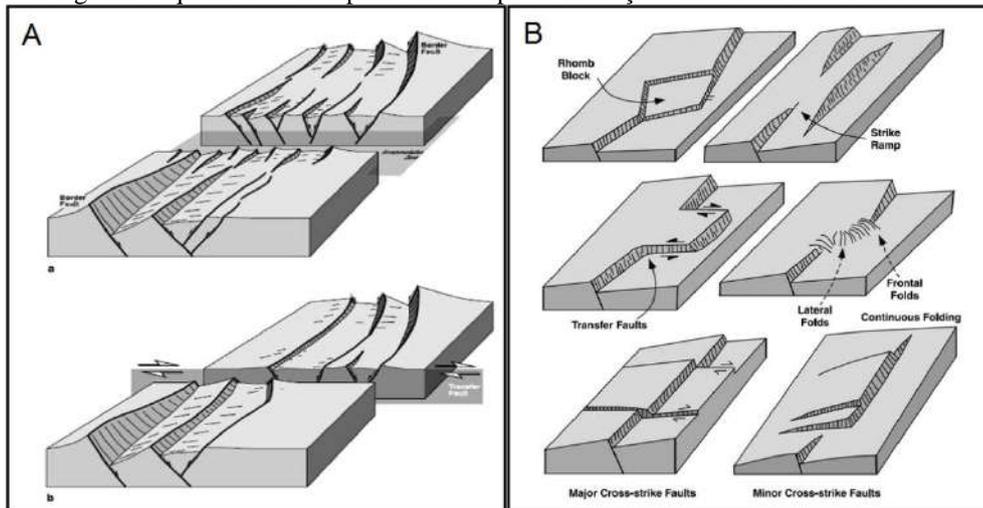
Figura 15 – Esquema de Classificação das zonas de transferência com base na interação entre as falhas.



Legenda: Geometria básica: a) Zona de Transferência Convergente; b) Zona de Transferência Divergente; c) Zona de Transferência Sintética.

Fonte: MORLEY(1999); PAUL *et al.*(2013).

Figura 16 –Diagrama esquemático exemplificando o tipo de interação entre elementos transferentes.



Legenda: a) Zona de Acomodação *soft-linked*; b) Falha de Transferência; Tipo de feições associadas às zonas de transferência.

Fonte: McClay (2002); Morley (1999).

### 2.3 Mecanismo de Formação

Diversos autores tentaram reproduzir o mecanismo de formação das falhas de transferência. Um deles foi o trabalho de McClay (2002), que através de experimentos em caixa de areia conseguiu reproduzir o mecanismo de zonas de transferência. De acordo com a extensão no processo de rifteamento, falhas normais se formariam. Com a evolução desse processo de abertura, as falhas se prolongam de forma que possa haver uma

interação em suas terminações curvilíneas. Quando não há um componente expressivo de movimentação lateral ou oblíqua, a sobreposição das falhas permite a criação de zonas de transferência, configurando altos e baixos estruturais, rampas de alívio, entre outras feições (Figura 17).

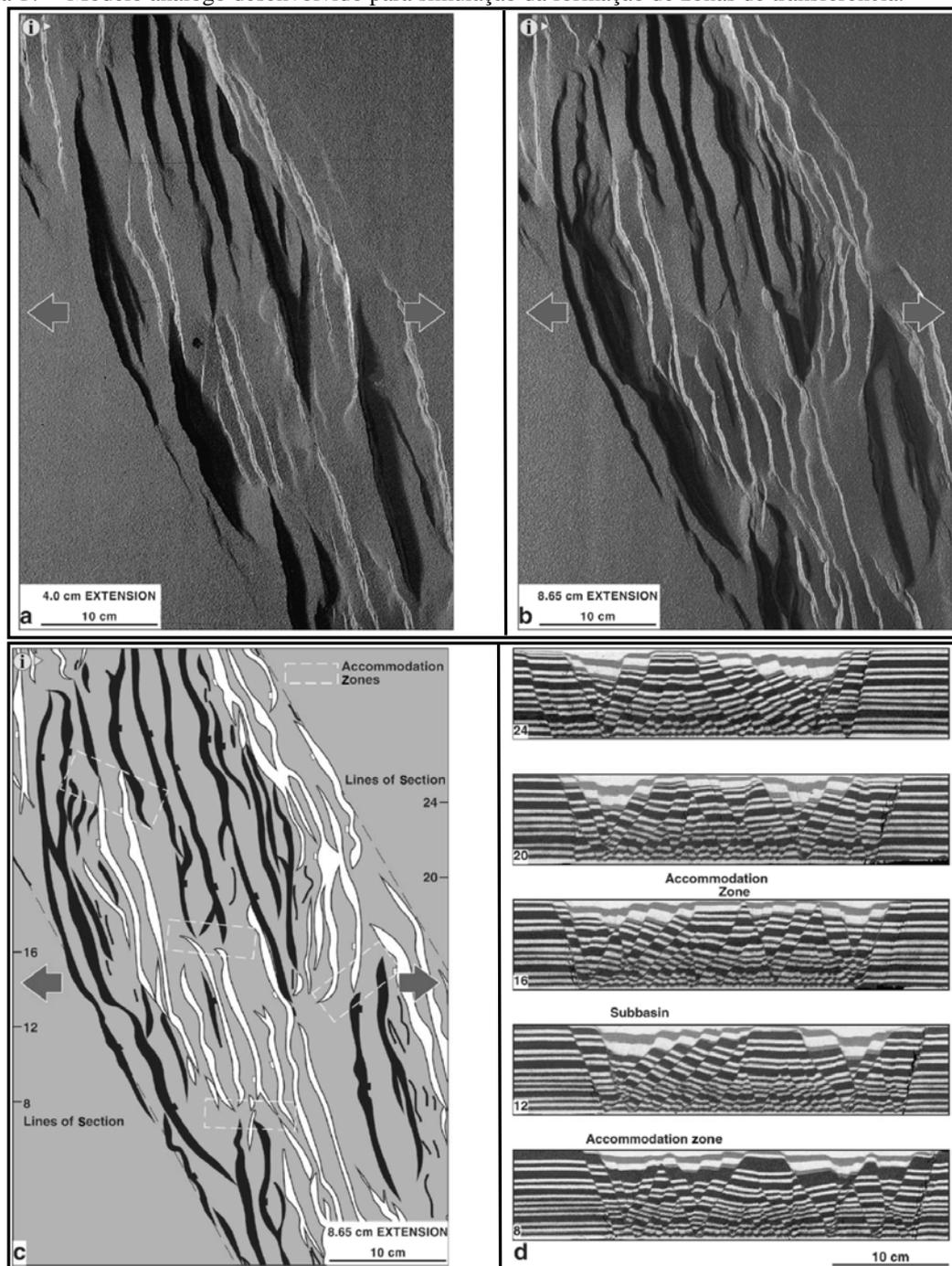
Em 2004, Acocella *et al.* usaram areia e silicone para reproduzir a formação das falhas de transferência através de uma taxa maior de estiramento a partir de estruturas pré-existentes, mostrando que a diferença na formação de *relay ramps* e falhas de transferência estava relacionada à taxa de extensão. Quando essa taxa é superior à 24% ocorre a formação de falhas subparalelas à direção dessa extensão. Paul&Mitra(2013) conseguiram reproduzir o desenvolvimento desses elementos, ratificando a importância da influência de estruturas pré-existentes. Porém, se utilizaram de um material diferente, sendo o embasamento representado por argila rígida enquanto a camada sedimentar foi representada por uma argila menos resistente (Figura 18).

#### 2.4 Identificação

As falhas de transferência podem ser identificadas através de métodos de investigação diretos e indiretos. No caso das bacias brasileiras *offshore*, os métodos utilizados são os indiretos, como os de análise gravimétrica, magnética e sísmica.

Em levantamentos gravimétricos, procura-se observar discontinuidades entre segmentos de anomalias positivas e negativas. Já para a análise magnética, pode-se observar lineamentos de baixa amplitude ou interrupção na continuidade das anomalias.

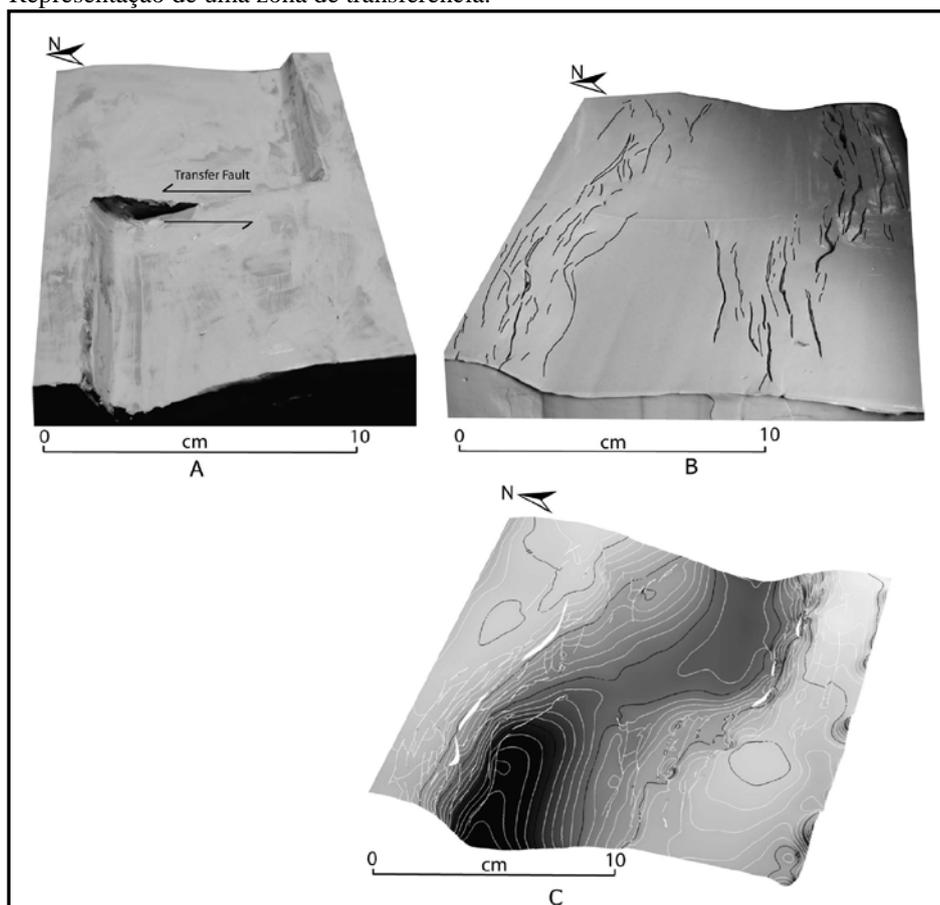
Figura 17 – Modelo análogo desenvolvido para simulação da formação de zonas de transferência.



Legenda: a) Primeiro estágio de extensão; b) Segundo estágio de extensão; c) Diagrama com a localização das seções. d) Seções exemplificando os tipos de interações entre as terminações das falhas.

Fonte: McCLAY(2002).

Figura 18–Representação de uma zona de transferência.

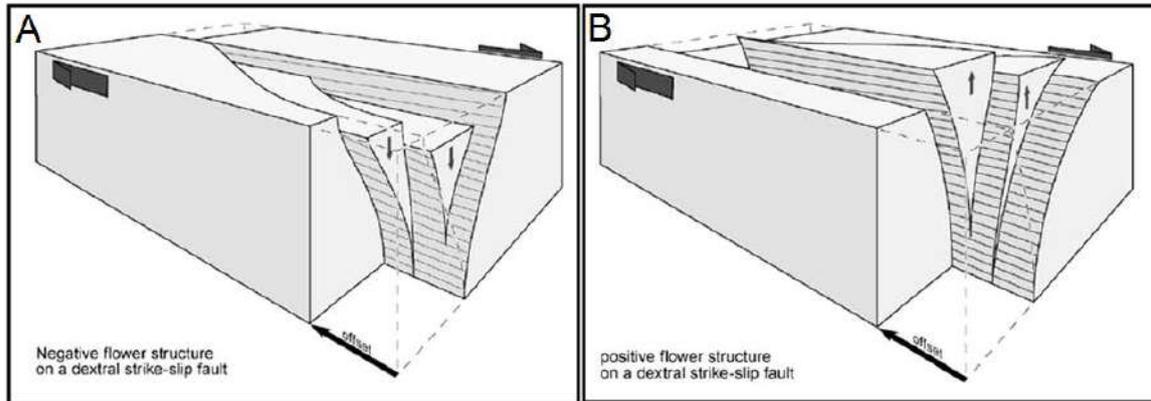


Legenda: a) do tipo conjugada convergente conectada por uma falha de transferência sem o análogo dos sedimentos; b) com a argila representativa de sedimentos; c) modelo representando as polaridades opostas segmentadas pela falha.

Fonte: PAUL & MITRA(2013).

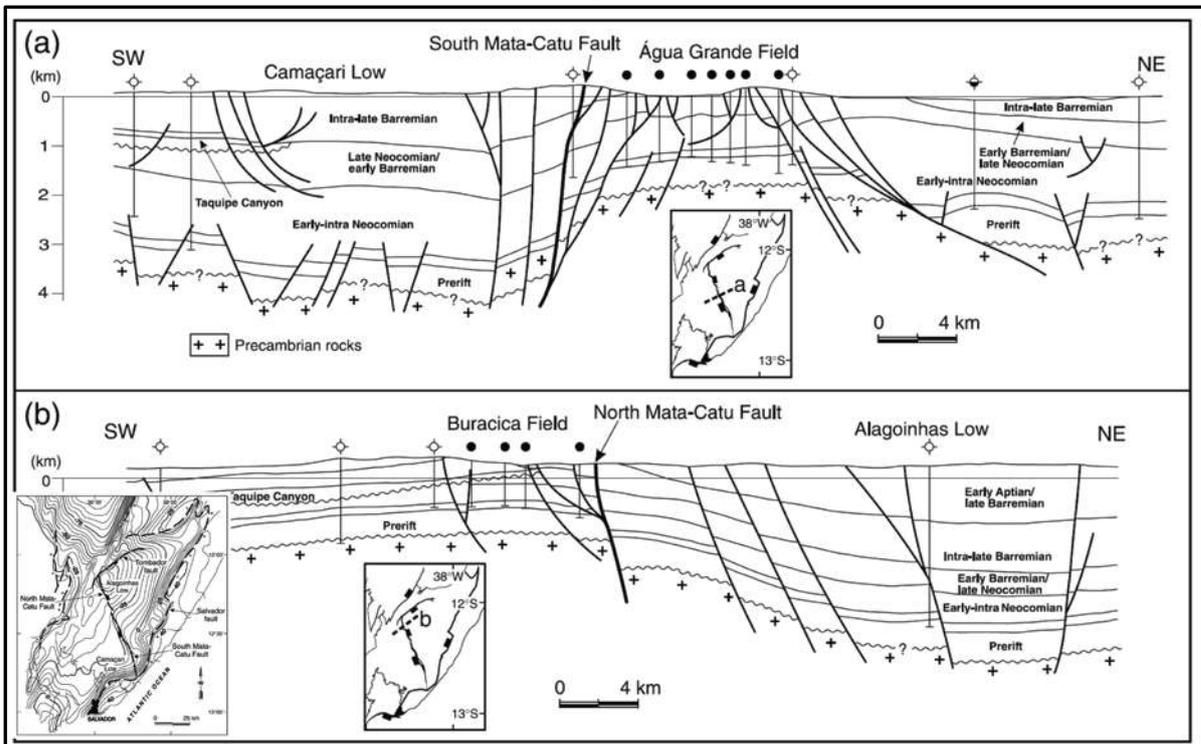
Além desses, também é feita a análise de linhas sísmicas de reflexão, onde falhas em zonas de transpressão e transtração, mergulham verticalmente no plano principal (SILVA, 2010). Sendo assim, esses elementos em linhas sísmicas paralelas à costa teriam a configuração de estruturas em flor. Em zonas de transpressão, seriam positivas e negativas em zonas transtrativas (Figura 19). Além da presença de estruturas em flor, estas falhas podem apresentar alto rejeito, plano vertical à subvertical e diferença na espessura do pacote sedimentar em lados opostos. Um exemplo bastante representativo no Brasil é a falha de Mata-Catu, na Bacia do Recôncavo (Figura 20). Esta falha tem suas terminações em falhas de orientação NE-SW. Quando comparada o rejeito de suas extremidades, observa-se uma mudança bastante significativa, sendo o rejeito na parte noroeste maior e a movimentação é destal, enquanto que na parte sudeste, essa movimentação é sinistral e o rejeito é menor (MILANI & DAVISON, 1988).

Figura 19 – Diagrama esquemático exemplificando a geometria de estruturas em flor negativa(A) e positiva(B).



Fonte: Swiss Federal Institute of Technology in Zurich.

Figura 20 - Elementos de caracterização de Falhas de Transferência na Bacia do Recôncavo, nordeste do Brasil.



Fonte: MILANI & DAVISON (1988).

## 2.5 Exemplos do segmento divergente da margem continental

A relação das zonas de transferência com a evolução da margem atlântica brasileira foi descrita por diversos autores, como por exemplo, de Austine e Uchupi (1982), Chang *et al.* (1990), Meisling *et al.* (2001), Cobbold *et al.* (2001). A partir de modelagem gravimétrica, esses autores observaram que cada bacia ao longo da margem foi sujeita a distintos graus de estiramento. Durante este processo, as diferenças nas taxas de estiramento da crosta com a evolução do arcabouço estrutural deu origem aos altos estruturais e para compensar mecanicamente as diferenças isostáticas, formaram-se falhas de transferência, as quais estendem-se em direção a *offshore* como Zonas de Fratura Oceânicas (ZFOs). Morley *et al.* (1999) sugere que essas falhas sejam estruturas precursoras às ZFOs. Interpretação semelhante também é observada em várias outras margens continentais onde há segmentação das bacias, como por exemplo, na região dos Grandes Bancos, Canada (THOMPSON, 2003).

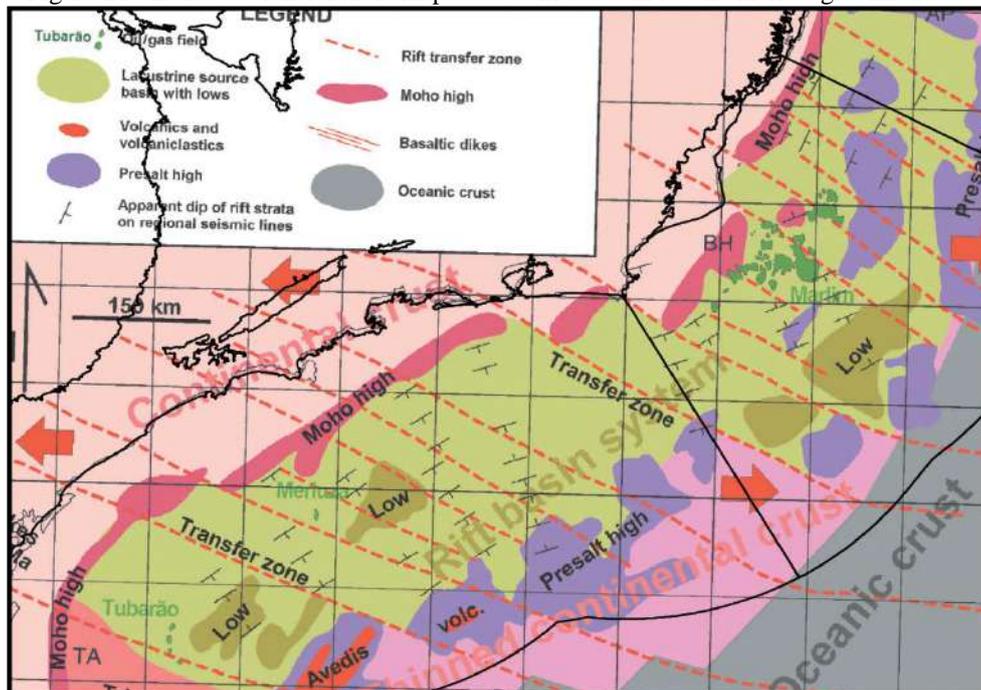
As zonas de transferência (ZTs) são aproximadamente paralelas ao vetor principal de extensão horizontal na geometria dos riftes (GIBBS, 1984; ROSENDAHL, 1987). Para a margem sudeste da costa brasileira, o eixo principal de extensão são de direções E-W e WNW-ESE, sendo os elementos de transferência subordinados preferencialmente à essas direções (STANTON, 2009). Essas zonas foram mapeadas através de dados gravimétricos e levantamentos sísmicos próximos à linha de costa por Meisling *et al.* (2001) e Cobbold *et al.* (2001). Estes autores se basearam em descontinuidades de anomalias expressivas na costa segmentadas por um *trend* herdado do embasamento (Figura 21). Essas zonas tendem a marcar a mudança na vergência das falhas extensionais (MEISLING *et al.*, 2001). Algumas das zonas mais importantes no sudeste brasileiro são: Zona de transferência Tubarão, que separa a bacia de Santos da plataforma de Florianópolis; Zona de transferência de Merluza, que separa a província sudoeste da província central; e a Zona de transferência de Cabo Frio, que separa a bacia de Santos e Campos (MOHRIAK *et al.*, 2008).

## 2.6 Zonas de Fratura

As Zonas de Fratura são falhas de deslocamento direcional que representam limites litosféricos conservativos representado por feições perpendiculares ao eixo principal da cordilheira mesoocênica, que segmentam a placa em idades distintas (ALVES, 2006). Estas estão presentes em margens cisalhadas que evoluem ao longo de três estágios, representados na Figura 22: o cisalhamento da crosta continental em rifteamento complexo; o desenvolvimento de uma falha transformante ativa separando crosta continental de crosta oceânica; e o estágio de margem passiva ao longo de zonas de fratura inativas que também separam crosta continental de oceânica (BIRD, 2001).

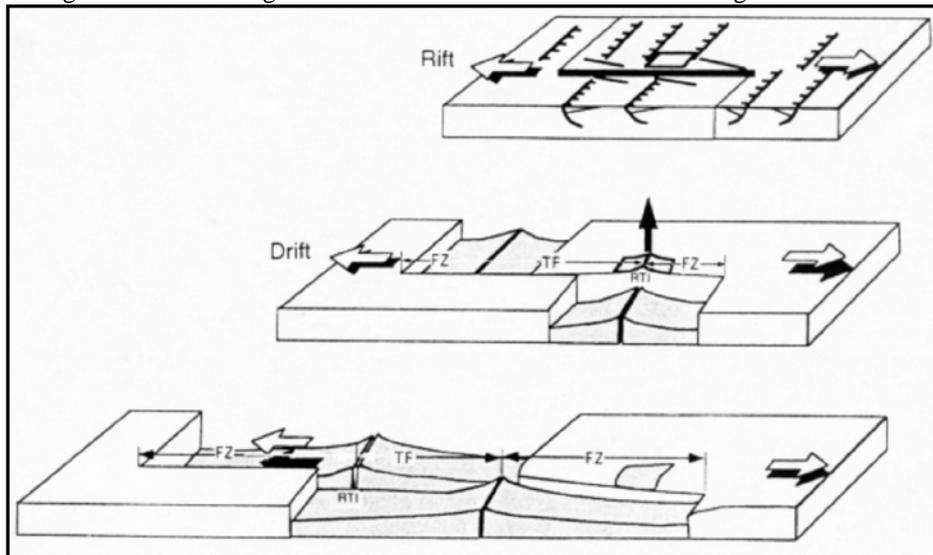
Na margem sudeste da costa brasileira, duas ZFOs se destacam: A ZF Martin Vaz e ZF Rio de Janeiro. As duas zonas se caracterizam por comportar deslocamentos de dezenas de quilômetros na Cordilheira Mesoatlântica e se estendem tanto para leste como para oeste em direção à costa africana e brasileira, respectivamente (Figura 23). Essas zonas são coincidentes com o registro de atividades vulcânicas, relacionadas à abertura do Oceano Atlântico (SANTOS, 2010).

Figura 21 –Zonas de transferência mapeadas com base em levantamentos gravimétricos.



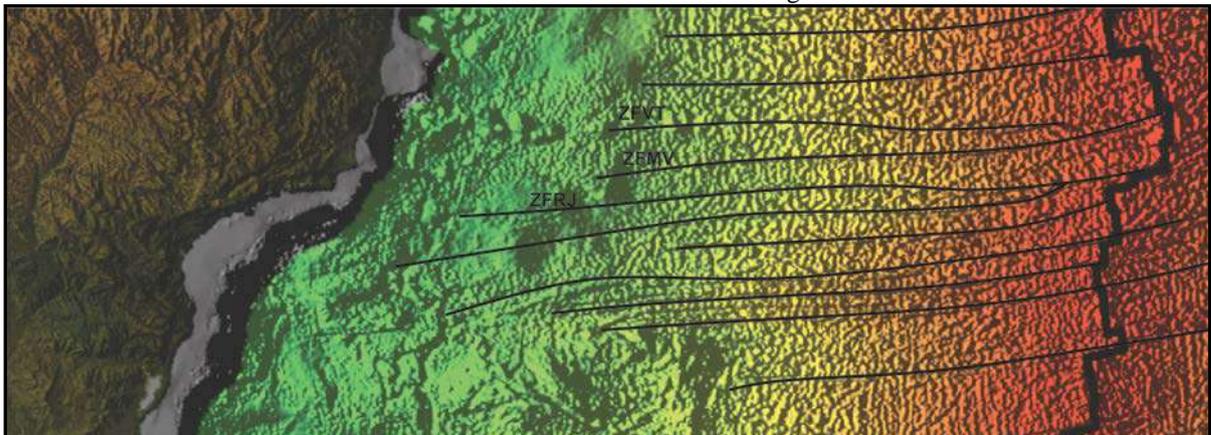
Fonte: MEISLING *et al.* (2001).

Figura 22 - Três estágios evolutivos das zonas de fratura em margens cislhadas.



Fonte: BIRD (2001).

Figura 23 - Zonas de Fratura Oceânica em mapa da idade do espalhamento da crosta oceânica. As idades variam de mais recentes em vermelho às mais antigas em verde.



Fonte: Modificado de ALVES(2006) e MULLER(2008).

### 3GEOLOGIA REGIONAL

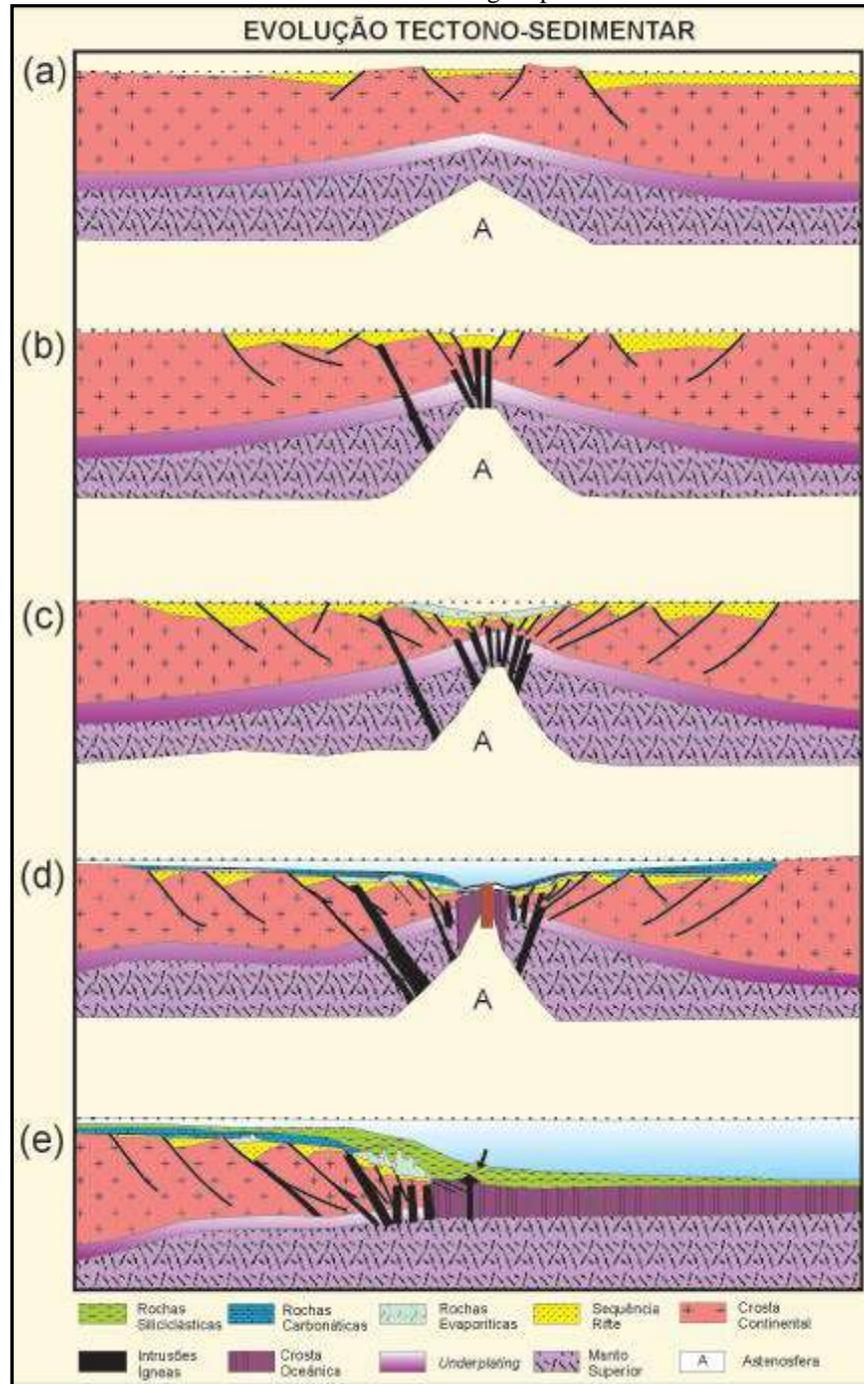
#### 3.1 Evolução Tectônica

O processo de rifteamento da margem continental do sudeste brasileiro se desenvolveu a partir de estruturas pré-existentes que caracterizavam fraqueza crustal. Atualmente, existem duas principais vertentes de modelos de evolução geodinâmica da Bacia de Campos.

O modelo mais tradicional e mais aceito é o modelo de McKenzie (1978), mostrado na figura 24. Nesse modelo o rifteamento inicia-se através do estiramento crustal da litosfera continental e afinamento crustal da crosta inferior, há a fragmentação da primeira por seu caráter rúptil dando origem à falhas normais e lístricas, sendo a subsidência controlada inicialmente por estes elementos. O manto sublitosférico é afinado e substituído pelo manto astenosférico que ascende à altas temperaturas. Com o subsequente esfriamento, segue-se o processo de subsidência, sendo a bacia preenchida por sedimentos continentais, lacustres e por fim, marinhos até seu estágio final, evoluindo para uma bacia de margem passiva (MOHRIAK *et al.*, 1989; MOHRIAK *et al.*, 1990; CHANG *et al.*, 1992; MOHRIAK, 2003; MOHRIAK *et al.*, 2008).

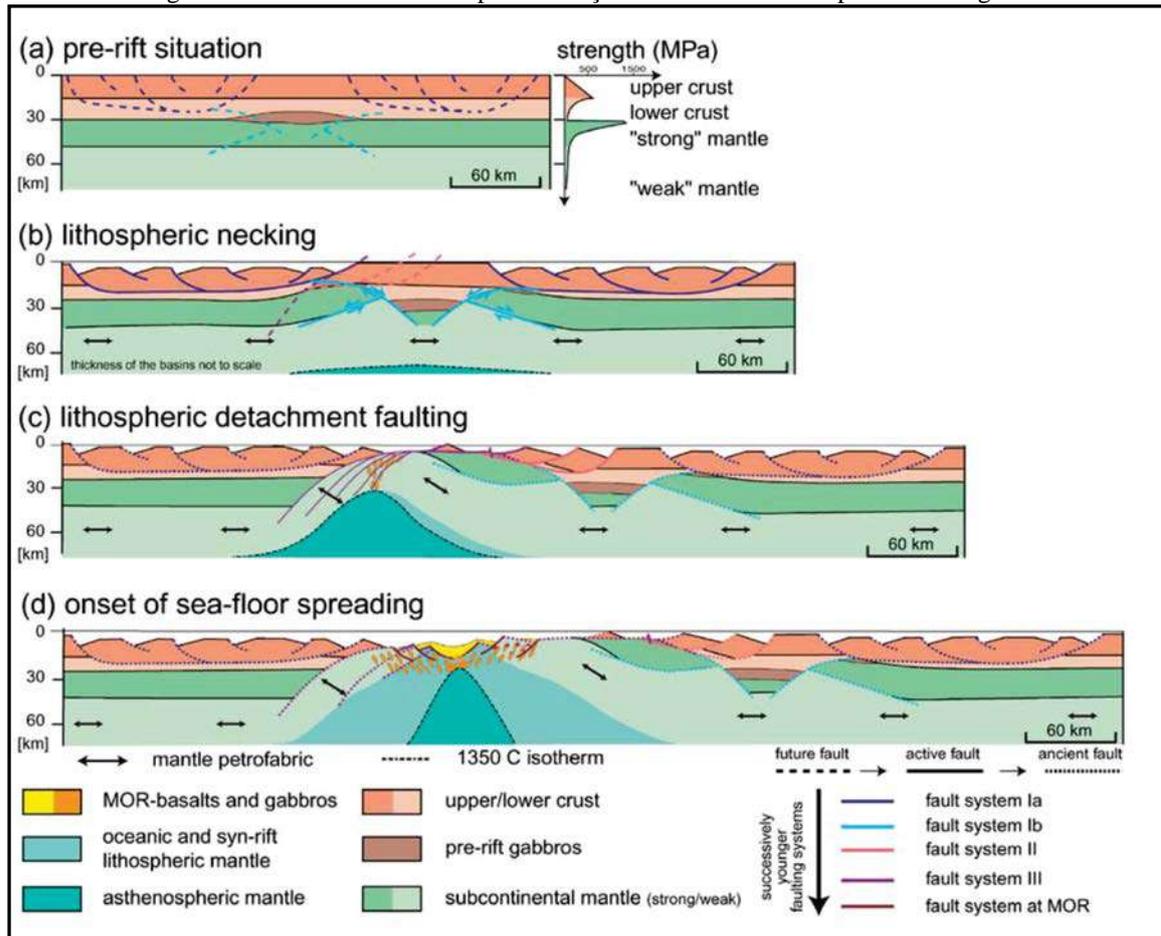
O segundo modelo é um modelo mais recente, elaborado a partir de observações na evolução da margem da Ibéria, proposto por vários autores, como por exemplo, Boillot *et al.* (1980), Manatschal (2004) e Perón-Pinvidic&Manatschal(2009) e vem sendo aplicado à margem continental brasileira (UNTERNEHR *et al.*, 2010; ZALÁN *et al.*, 2011). Neste modelo (Figura 25) é caracterizada a presença de uma falha de descolamento que vai até o manto, sendo o processo mais lento e com pouca presença ou total ausência de magmatismo. Com a evolução dos esforços que envolvem esse falhamento, o manto seria exposto e o estágio *sag* da bacia estaria sobre uma crosta superestirada. Ainda, segundo este modelo, haveria uma assimetria considerável entre as margens africana e sul-americana.

Figura 24 – Modelo de evolução tectônica durante o processo de separação de um continente até a formação de uma bacia de margem passiva.



Fonte: (MOHRIAK *et al.*, 2008).

Figura 25 - Modelo conceitual para evolução do sistema de rifte pobre em magma.

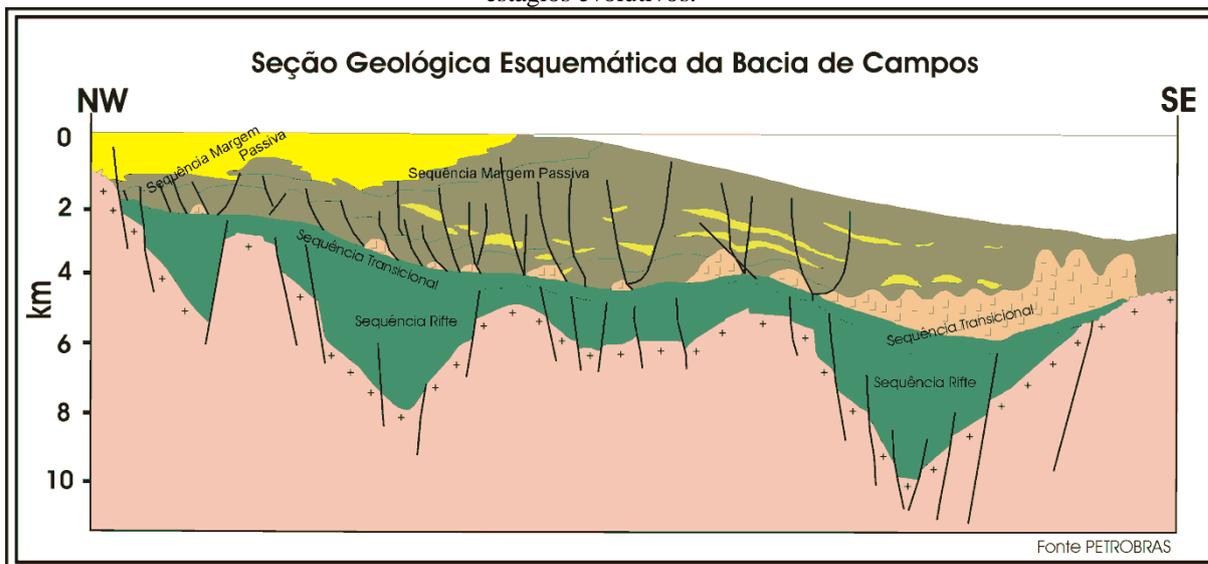


Fonte: MANATSCHAL (2004).

No caso da Bacia de Campos, os eventos do processo de separação se deram desde o Mesozoico até o fim do Paleógeno, onde um grande soerguimento crustal ocorreu durante a reativação Wealdeniana, seguido pelo rifteamento entre os continentes americano e africano (MOHRIAK *et al.*, 1989).

Os estágios de evolução tectono-sedimentar podem ser observados no perfil esquemático da Bacia de Campos (Figura 26), cujas características são descritas a seguir com base na interpretação de Rangel e Martins (1988):

Figura 26 – Perfil esquemático da Bacia de Campos com as supersequências separadas de acordo com os estágios evolutivos.



Fonte: PETROBRÁS.

O primeiro estágio (associado com a Sequência Rifte) é o início da separação dos continentes sul-americano e africano, no qual se observa a fase extensional. Essa extensão envolve duas componentes: primeiro, o soerguimento da astenosfera e consequentemente, afinamento litosférico. Subsequentemente, ocorre aumento da taxa de estiramento da litosfera, onde a presença de extrusão de lavas basálticas e falhas que atingem a crosta continental também são observadas. Estas falhas são responsáveis por morfologias de semi-grábens, grábens e *horsts*, sendo estes preenchidos por material continental em ambiente lacustre do Neocomiano ao Barremiano.

Com o fim do rifteamento, há um novo aumento da taxa de extensão litosférica que causou a rotação de blocos formados durante a fase rifte. Estes blocos foram recobertos por sedimentos que não foram afetados por esta movimentação. Ainda, no fim do evento de rifteamento, é possível observar atividade vulcânica devido à intrusão do centro de espalhamento na crosta, correspondente ao magmatismo Cabiúnas que é de idade correlacionável com o magmatismo Serra Geral na bacia do Paraná (WINTER *et al.*, 2007). Uma grande discordância marca o limite entre a deposição em ambiente continental e o ambiente transicional e marinho.

A fase transicional é caracterizada pela fase de *sagbasin*, que apresenta poucas evidências de atividade tectônica. Acima dessa sequência são depositadas as sequências evaporíticas do Aptiano superior, e com a continuação da transgressão, mas ainda em ambiente plataformal raso, há registro sedimentação de carbonatos durante o Albiano.

A etapa seguinte (Sequencia Margem Passiva) registra a deposição em ambiente marinho transgressivo, com acumulação de material siliciclástico em águas profundas.

No fim do Cretáceo, com o soerguimento da Serra do Mar há o aporte de material continental em direção à bacia, constituindo um quadro de progradação. Esses episódios também estão relacionados a reativações de falhas envolvendo o embasamento, falhas halocinéticas da Sequencia Margem Passiva e magmatismo afetando o Cretáceo Superior e Terciário Inferior (GERALDES *et al.*, 2013)

## 3.2 Arcabouço Estratigráfico

### 3.2.1 Embasamento

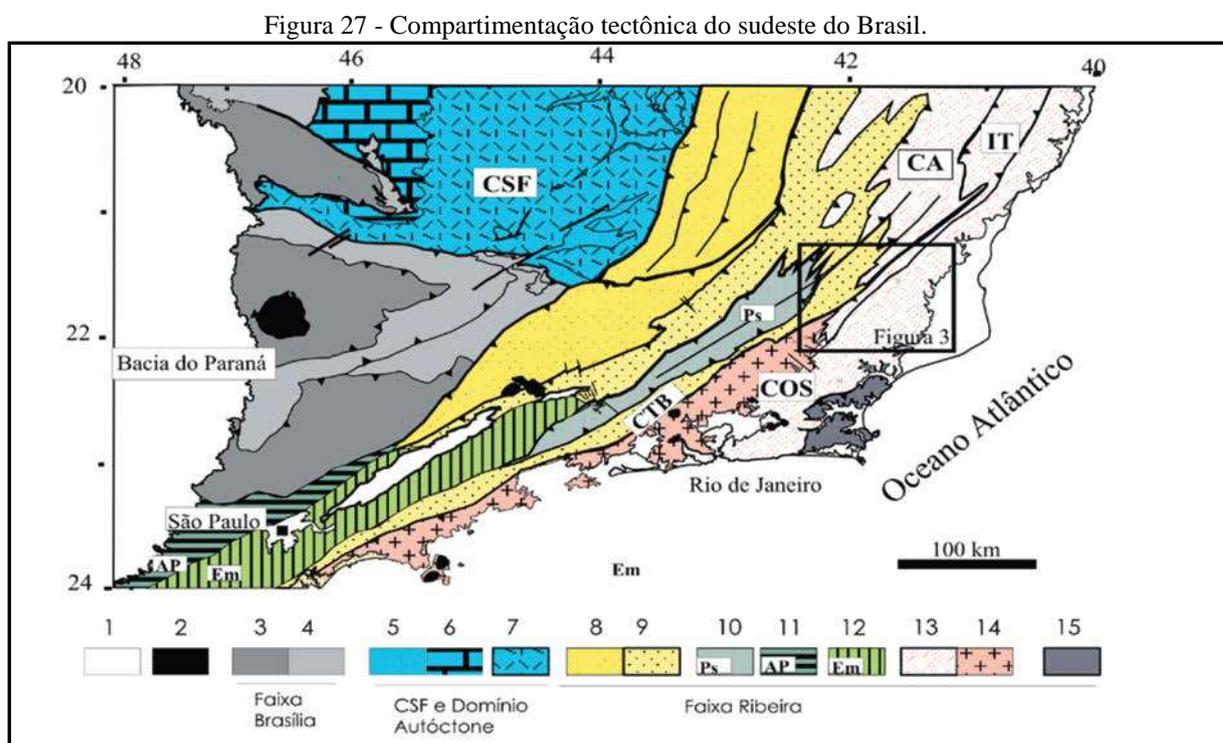
#### 3.2.1.1 Província Mantiqueira e Orógeno Ribeira

A Província Mantiqueira é constituída por terrenos pré-cambrianos paralelos à costa sudeste brasileira, com direção predominante NE e se estendendo por mais de 3.000 km, sendo limitada pelas províncias Tocantins, São Francisco e Paraná e pelas bacias de Pelotas, Santos, Campos e Espírito Santo a leste. É formada por um sistema de cinturões orogênicos que vão desde o nordeste até o Uruguai, com cerca de 700.000 km<sup>2</sup>, sendo estes os orógenos Dom Feliciano, São Gabriel, Araçuaí e Ribeira (HEILBRON *et al.*, 2000; HEILBRON *et al.*, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2013).

Esta província foi compartimentada em três segmentos: Orógeno Araçuaí, pertencente ao segmento setentrional; Dom Feliciano e Gabriel no segmento meridional; e o Orógeno Ribeira na parte central. O embasamento da Bacia de Campos é composto por este cinturão orogênico de idade pré-cambriana superior e por crátons adjacentes.

O orógeno Ribeira é uma faixa móvel formada a partir da colisão de terrenos diversos, como placas, microplacas e arcos de ilhas, com os crátons do Congo e São Francisco durante o Neoproterozoico. Esta se estende por cerca de 1400km, sendo limitada a oeste pela Faixa Brasília, a leste pelas bacias de margem continental, a norte pela Faixa

Araçuaí e a sul pelo orógeno Apiaí e o Cráton Luis Alves. Heilbron *et al.* (2004), dividiram esta faixa em quatro compartimentos principais de acordo com suas respectivas características, diferenciadas entre si por uma série de processos que atuaram durante os distintos estágios evolutivos. Estes processos são: metamorfismo (tipo e intensidade), anatexia, magmatismo, deformação crustal e extensão e constituição do embasamento. Estes terrenos são estruturados segundo a direção NE-SW a partir de esforços transpressionais destrais da época colisional, caracterizado presença de falhas de empurrão com vergência para oeste e zonas de cisalhamento transpressivos oblíquos. São eles: Terreno Oriental, Terreno Ocidental, Terreno Paraíba do Sul e Terreno Cabo Frio (Figura 27).



Legenda: Destaque para os números de 8-15, componentes da Faixa Ribeira. 8- Terreno Ocidental/ Domínio Andrelândia; 9 - Terreno Ocidental/ Domínio Juiz de Fora; 10 - Terreno Paraíba do Sul; 11- Terreno Apiaí; 12- Terreno Embú; 13- Terreno Oriental; 14 - Arco Magmático Rio Negro; 15 - Terreno Cabo Frio.  
Fonte: TUPINAMBÁ *et al.* (2007).

Heilbron *et al.* (2004) propõem quatro estágios evolutivos para este orógeno. O primeiro estágio seria anterior à colisão, subdividido em dois eventos, um de idade de 790 Ma e outro, de 635-620Ma. Durante este estágio as rochas geradas seriam de caráter magmático de margem continental ativa e/ou arco de ilhas; o segundo seria entre 590 à 560 Ma, relacionado à colisão entre diversos paleocontinentes que resultaram no fechamento



### 3.2.2 Supersequência Rife

Esta fase é limitada por idades do Halteriviano ao Eoaptiano, contendo as sequências de K20 à K38, representado pela Formação Cabiúnas, e pelo grupo Lagoa Feia e deposição em ambiente continental.

A sequência que vai de K20-K34 é composta por rochas ígneas e subalcalinas, como basaltos e diabásio sem forma de derrame. Os basaltos dessa unidade são de alguma importância econômica para a exploração de petróleo, já que são fraturados e podem servir como reservatório. O modelo para esta sequência foi proposto por Mizusaki *et al.* (1988), afirmando que houve vulcanismo fissural com fases subaéreas e fases subaquosas que interagem tanto com processos vulcanoclásticos como com processos de origem sedimentar (ALMEIDA *et al.*, 1996).

A sequência K36 é composta por arenitos, siltitos, conglomerados e folhelhos depositados tanto na borda da bacia quanto na borda de falha. O destaque dessa sequência vai para Fm. Coqueiros, onde se encontram intercaladas rochas carbonáticas com folhelhos. Esses carbonatos de origem lacustre são compostos majoritariamente por moluscos bivalves, formando coquinas. Estas, por sua vez, podem apresentar alta porosidade, também representando o papel de rocha reservatório.

### 3.2.3 Supersequência Pós-Rife

O Grupo Lagoa Feia também abrange esta fase, seu limite inferior é uma discordância com a sequência K34 (Fm. Coqueiros) que está sob uma base de rochas argilosas, componentes do folhelho Alagoas. Os litotipos mais comuns são conglomerados e arenitos, na sequência inferior, representando padrão progradante e carbonatos, margas e arenitos na parte superior, que caracteriza um padrão retrogradacional, representante de um aumento no nível de eustasia e do ambiente de transição. Ela abrange as formações Itabapoana, que também está presente na supersequência rife, Gargau, Macabu e Retiro, e vai desde o Aptiano médio até o início do Albiano, englobando as sequências K46-K50.

A sequência K50 é representada pela Fm. Retiro, topo do Grupo Lagoa Feia, depositada no fim do Albiano. Esta sequência é composta por camadas evaporíticas e possui grande importância, pois a tectônica salífera foi responsável pela formação de estruturas, como por exemplo, baixos estruturais que afetaram de forma significativa a deposição de rochas reservatório na Bacia de Campos.

### 3.3.3 Supersequência Drifte

Esta fase é composta por sedimentos de origem marinha depositados sob ambiente adiastrófico e regime de subsidência térmica (WINTER *et al.*, 2007). Compreende um pacote sedimentar de mais de 5000 metros de espessura, composto pelas formações do Grupo Macaé e do Grupo Campos, registrando a transição da fase marinho transgressiva até marinho regressiva.

O registro do Grupo Macaé vai desde o início do Albiano até o fim da idade Cenomaniana, engloba as sequências de K60-K84 e varia o ambiente desde plataformaraso até marinho profundo. A sequência K60 é composta na base por um sistema carbonático de planície de maré, em relação ao distanciamento, é formada por seções de leques aluviais, deltaicos e fandeltas na parte proximal, calcarenitos de porosidade variável indicando ambiente de energia moderada à alta na porção intermediária e por folhelhos na seção distal. Seu limite superior é o Marco Beta, que corresponde a uma superfície de inundação máxima de caráter regional.

As sequências de K70-K84 têm composição semelhante, dada por conglomerados, arenitos e calcilutitos na porção proximal e mediana e por folhelhos na parte distal, onde se encontra o registro de fósseis como foraminíferos bentônicos, foraminíferos planctônicos, cocólitos e radiolários. A deposição desse material argiloso caracteriza o fim da deposição em ambiente de plataforma rasa e encerra de vez a deposição de carbonatos até o médio Eoceno. Nesta sequência também está presente a Formação Namorado, umas das formações mais importantes do ponto de vista econômico, já que nela foram depositadas camadas arenosas (turbiditos do Cretáceo Superior) que desempenham o papel de rocha reservatório.

O Grupo Campos engloba as formações Carapebus, Ubatuba, Emboré e Barreiras. Sua deposição vai desde o Turoniano até o Pleistoceno e o ambiente característico é o marinho regressivo, migrando desde o profundo até o plataformal. As sequências que o compõe vão desde K86-N70. Estas sequências são compostas majoritariamente por rochas de material siliciclástico como conglomerados, arenitos avermelhados plafatormais, arenitos resultantes de fluxo turbidítico, rochas pelíticas, carbonatos, que voltam a ocorrer a partir da sequência E40-E50, diamictitos e em alguns andares há ocorrência de rochas vulcânicas (K90 – Magmatismo Santoniano-Campaniano; E10-E20 – Magmatismo Cretáceo-Paleógeno, E30 – Magmatismo Abrolhos). Uma das sequências que merece destaque é a sequência K130, onde encontra-se maior enriquecimento de material argiloso, o que a diferencia das demais sequências quanto a qualidade do reservatório, devido ao espaço amplo nas calhas em que foi depositada, além da granulometria que facilita o potencial permoporoso. Vale ressaltar alguns eventos de grande expressão na bacia como o Marco Azul (E74) que marca uma superfície de inundação máxima durante o Eooligoceno, e o Marco Cinza (N30), que marca uma discordância significativa, indicando uma queda expressiva do nível do mar durante o Mioceno superior (Tortoniano). A partir desta queda, há uma remobilização de um volume gigantesco de sedimentos em direção às águas profundas.

A carta estratigráfica da Bacia de Campos pode ser observada de forma resumida na figura 29, nela se destacam as correlações cronoestratigráficas e a divisão em forma de sequências. Ainda nesta figura observa-se a associação junto ao poço 1RJS0192RJ, destacando os principais horizontes mapeados neste estudo, que serão discutidos de forma mais detalhada no capítulo quatro.



### 3.3 Aspectos Estruturais

O arcabouço estrutural da bacia de Campos foi controlado principalmente devido aos esforços relacionados a ajuste rúpteis, relacionados ao processo divergente e a processos termiais, diferenciados pela reologia distinta do embasamento. Morley (1999) e Ranalli&Win (1990) afirmam que de acordo com o ângulo entre a tensão mínima e estruturas do embasamento no momento inicial da abertura, a reativação de estruturas herdadas do embasamento pode ser desencadeada, limitando o rifte em blocos. Com a evolução da movimentação desses blocos, a direção principal das estruturas também sofreu uma rotação, mudando seu *trend* de NE-SW para N-S. Perpendicular a este *trend*, houve a conexão de falhas transferentes, a fim de acomodarem os esforços ao longo do processo de ruptura.

As feições regionais (Figura 30) de maior importância da bacia de Campos correspondem à uma charneira pré-Aptiana, altos estruturais, baixos estruturais, falhas extensionais do embasamento, *rollovers* associados com falhas antitéticas, falhas lítricas com terminação na falha de descolamento que finda na camada de sal, *rollovers* associados com falhas lítricas, falhas reversas associados com a compressão além do limite da plataforma e cânions submarinos (GUARDADO *et al.*, 1989; MOHRIAK & MELLO, 1989; RANGEL & MARGINS, 1998; GUARDADO *et al.*, 2000; ALVES *et al.*, 2011)

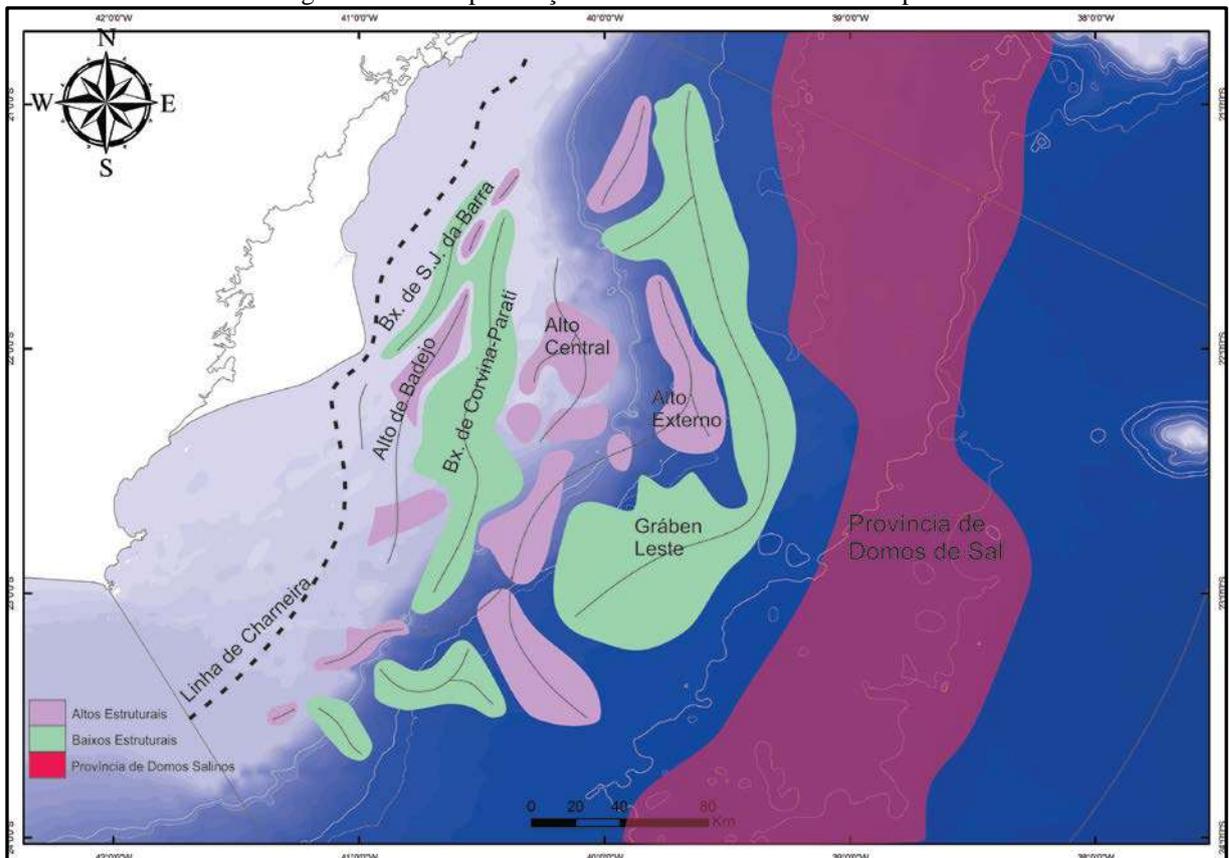
Segundo Guardado (1989) a fase rifte é composta por falhas normais de alto ângulo de direção NE-SW, acompanhando as estruturas previamente orientadas que favoreceram a ruptura continental. Esse *trend* é observado ao longo da bacia, apesar de na parte norte haver uma flexão para direção norte-sul. Essas falhas deram origem à morfologia de *horsts*, grábens e semi-grábens, que afetaram as camadas desde o embasamento até a camada pré-sal. Os baixos e altos estruturais podem ser identificados através de anomalias gravimétricas. As falhas sintéticas e antitéticas são contínuas e podem alcançar rejeito de mais de 2500m. A charneira pré-Aptiana é paralela à linha de costa da bacia e é marcada pela falha de Campos. Esta separa a parte leste, onde estão contidos os sedimentos de idade Cretácea, da parte oeste, onde estão os sedimentos de idade Terciária (GUARDADO *et al.*, 1989; MOHRIAK *et al.*, 1990; MEISLING *et al.*, 2001; ZALÁN E OLIVEIRA, 2005).

A maioria das falhas se torna inativa a partir da desconformidade Alagoas, porém algumas dessas falhas foram reativadas e atravessam desde a fase rifte até a fase drifte.

Após o período de quiescência no Aptiano, a influência da tectônica halocinética levou a geração de novas estruturas, como falhas, jangadas e cascos de tartaruga, caracterizando a formação de estruturas salíferas. Essas falhas persistiram até o Holoceno e são de grande importância no sistema petrolífero da bacia, já que o sal atua como selo para depósitos da fase rife.

Outra feição estrutural de destaque são as já citadas falhas de transferência. A Bacia de Campos é dividida em duas regiões tectônicas semelhantes que são separadas por um conjunto de falhas na parte central de direção noroeste-sudeste/leste-oeste. Isto sugere que um conjunto de falhas de transferência teria surgido durante a fase de rifteamento da crosta continental, evidenciado pelas movimentações diferenciadas na parte norte em relação à parte sul. O deslocamento preferencial dessas falhas ocorreu na mesma direção dos esforços extensionais, leste-oeste. As falhas oblíquas a essa direção estão associadas às Zonas de Transferência (ZTs), que na bacia de Campos tem direção NW-SE (IBAMA, 2012), compartimentando os já mencionados altos e baixos estruturais na bacia.

Figura 30 - Principais feições estruturais da Bacia de Campos.



Fonte: ALVES *et al.* (2011). Modificada pela autora (2016).