

Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia e Geofísica Marinha
Graduação em Geofísica

João Victor Garcia de Lima

**Modelagem Gravimétrica 2-D Utilizando Condicionantes
Externos para Caracterização do Embasamento na Parte
Norte da Bacia de Santos**

Niterói - RJ
2010

João Victor Garcia de Lima

**Modelagem Gravimétrica 2-D Utilizando Condicionantes
Externos para Caracterização do Embasamento na parte
Norte da Bacia de Santos**

Monografia apresentada ao
Curso de Graduação em
Geofísica da Universidade
Federal Fluminense, como
requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em
Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Adalberto da Silva (Lagemar – UFF)

Co-Orientador: Prof. Dra. Marcia Maia (IUEM – UBO)

Niterói - RJ
2010

L732

Lima, João Victor Garcia de

Modelagem gravimétrica 2-D utilizando condicionantes externos para caracterização do embasamento na parte norte da Bacia de Santos / João Victor Garcia de Lima. – Niterói : [s.n.], 2010.
80 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) – Universidade Federal Fluminense, 2010.

1. Geofísica. 2.Gravimetria. 3.Modelagem gravimétrica.
4.Bacia de Santos. I.Título.

CDD 550

João Victor Garcia de Lima

**Modelagem Gravimétrica 2-D Utilizando Condicionantes
Externos para Estimar a Profundidade do Embasamento na
parte Norte da Bacia de Santos**

Monografia apresentada ao
Curso de Graduação em
Geofísica da Universidade
Federal Fluminense, como
requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em
Geofísica.

Aprovada em:

Por:

André Luiz Ferrari (Lagemar – UFF)

Cleverson Gizan (Lagemar – UFF)

Niterói - RJ
2010

"Fiz um acordo de coexistência pacífica com o tempo:

Nem ele me persegue, nem eu fujo dele.

Um dia a gente se encontra."

Mário Lago

Agradecimentos

A Deus que sempre esteve ao meu lado provendo-me as oportunidades de crescimento na vida, tanto profissionalmente quanto pessoal.

A minha família que me apoiou desde sempre

A minha linda menina Amanda, pelo apoio, amor, carinho e compreensão nos momentos de presença e ausência.

Aos meus amigos da geofísica e de vida, em especial Alex Peçanha por me aguentar fazendo as perguntas mais nem sempre tão inteligentes, a Flora Solon e Patrícia Melgaço por me aguentarem meu humor variadp e Pedro Vergara pelos anos de caronas e conversas.

Aos professores, Adalberto da Silva e Marcia Maia que me orientaram no projeto e Cleverson Gizan e Sidney Mello por ter aberto uma porta de suma importância na minha vida acadêmica e profissional e ao IUEM por me acolher nesse crescimento

A todos os membros do curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense pela atenção nesses 5 anos.

A Mauro Andrade do Observatório Nacional (ON) pela orientação e conselhos ao longo da Iniciação Científica e da vida acadêmica.

A Microars, em especial ao Dr. Geraldo pelo meu primeiro estágio.

Ao Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM) pelas parcerias de pesquisa, em especial aos Dra. Marcia Maia, Dr. Pascal Tarits e Dr. Christian Sue.

A Shell Brasil, em especial ao time de Exploração que acreditou e acredita no meu potencial apoiando esse projeto de forma única.

A Geosoft pela atenção e por ter fornecido a licença do Oasis Montaj e seus aplicativos, que elevaram o nível do projeto.

A todos que de maneiras específicas contribuíram para esse momento.

Resumo

Na maioria das situações relacionadas aos estudos da Terra, um método geofísico não é suficiente para chegar a uma conclusão de uma questão específica, já que o mesmo é passivo de ambiguidades ou incertezas na interpretação. Para tal, se faz necessário que um ou mais métodos sejam integrados, gerando uma resposta que se aproxime do modelo real e com confiabilidade para que a mesma metodologia possa ser aplicada em outros casos similares, otimizando assim a utilização conjunta dos métodos. Partindo desse ponto o presente trabalho sugere a realização de uma Modelagem Gravimétrica 2-D, auxiliada por dados sísmicos e de poços, visando o mapeamento da profundidade do embasamento e conseqüentemente sua caracterização na porção norte da bacia de Santos, pois o conhecimento sobre a crosta é de grande importância para estudos tectônicos para reconstrução histórica da bacia que servem de parâmetro de entrada nos estudos de modelagem visando reconstruir os processos de geração, migração e acumulação de Hidrocarbonetos.

Palavras-chave: Modelagem Gravimétrica, Integração, Embasamento, Bacia de Santos, Seção Sedimentar.

Abstract

In most situations related to studies of Earth, a geophysical method is not sufficient to reach a conclusion of a specific issue, since it is passive ambiguities or uncertainties in your interpretation. For that reason, it is necessary integrate one or more methods for generating a response that approximates the real Earth with reliability so that the same methodology can be applied in other similar cases, thus optimizing the combined use of methods. From this point this project suggests the implementation of a 2D Gravity Modeling, aided by seismic and wells data, aimed the characterization of the basement in the northern portion of the Santos Basin, because knowledge about the crust is of great importance for tectonic studies of basin historical reconstruction that serve as input parameter in modeling studies aimed at reconstructing the processes of generation, migration and accumulation of hydrocarbons.

Key Word: Gravity Modeling, Integration, Basement, Santos Basin, Sedimentary Section

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa das Bacias Sedimentares Brasileiras	14
Figura 2: Localização e limites da Bacia de Santos	16
Figura 3: (1) Esquema Estruturação do Interior da Terra apresentando camadas (2) e suas respectivas velocidades de propagação das ondas sísmicas S e P (3) e as variações do gradiente geotérmico	20
Figura 4: Exemplo de crosta continental afinada em região de margem passiva	21
Figura 5: Esquema de uma aquisição sísmica e seu imageamento	23
Figura 6: Esquema de um poço sendo perfurado.....	24
Figura 7: Mapa Global da Anomalia Free-air Derivada de Satélite	25
Figura 8: Supercontinente Gondwana e Laurásia antes da Ruptura	29
Figura 9: Mapa Global dos Limites Tectônicos Atuais no Oceano Atlântico	30
Figura 10: Reconstrução da abertura do Atlântico Sul, do Eo-Cretáceo (130 Ma) ao Campaniano (80 Ma), mostrando a configuração dos continentes, os polos de rotação e os vetores de movimentos das placas	31
Figura 11: Symmetric Lithospheric Extension	33
Figura 12: Asymmetric Lithospheric Extension	34
Figura 13: Mostra o conjunto de mapas derivados da interação de dados aéreos, terrestres, marinhos e de satélite (batimetria e gravimetria) na Margem Continental Brasileira. (A) apresenta o mapa batimétrico da margem continental brasileira / (B) apresenta o mapa de anomalias free-air / (C) o mapa de anomalias Bouguer	35
Figura 14: Evolução geotectônica de uma bacia Rifte	36
Figura 15: Estrutura crustal da Bacia de Santos na região do Platô de São Paulo	37

Figura 16: Áreas dos derrames vulcânicos do Pré-Rifte	38
Figura 17: Deposição dos Sedimentos da fase Sinrifte	39
Figura 18: Contato entre crosta continental e oceânica ao longo da Zona de Fratura do Rio Grande e a sequência Evaporítica restrita à bacia de Santos	41
Figura 19: Reconstrução do Atlântico Sul durante o Aptiano. A linha B-B' representa a posição de um eixo de espalhamento hipotético entre as placas africana e sul americana. A linha A-A' representa a posição final do eixo de espalhamento, após sua migração para leste	41
Figura 20: Limites Evaporíticos Aptianos nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo	42
Figura 21: Reconstruções paleogeográfica do Barremiano ao Neo-Aptiano, mostrando as principais fases tectônicas e a abrangência da sedimentação marinha no Oceano Atlântico Sul	43
Figura 22: Sequência evolutiva da Bacia de Santos durante o Cretáceo	44
Figura 23: Seções sísmicas profundas ao longo da Bacia de Santos (acima) e offshore Namíbia (abaixo), mostrando a distribuição dos sedimentos pós-rifte e as vulcânicas relacionadas à abertura continental	45
Figura 24: Posição paleogeográfica dos continentes africano e sul-americano e do Atlântico Sul primitivo no Albiano (A), a partir do modelo geodinâmico tradicional, com rotação no sul e transcorrência no norte. Em B, são apresentadas as principais feições fisiográficas da margem continental brasileira e bacias marinhas adjacentes ...	46
Figura 25: Seções Sísmicas na Bacia de Santos	48
Figura 26: Reconstrução paleogeográfica das sequências Sinrifte e Megassequências Pós-Rifte, Evaporítica Transicional e Plataforma carbonática rasa	48
Figura 27: Carta Estratigráfica da Bacia de Santos	49

Figura 28: Seção Geológica das Bacias Mezo-Cenozoica, ao longo da Margem Leste Brasileira	50
Figura 29: Mapa com a localização de todos os dados selecionados para o projeto	53
Figura 30: Linha Sísmica 0239-0366 em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios	55
Figura 31: Linha Sísmica 0222-0098 em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios	55
Figura 32: Linha Sísmica 0239-0366 Interpretada em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios	56
Figura 33: Linha Sísmica 0222-0098 Interpretada em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios	56
Figura 34: Linha Sísmica 0239-0366 mostrando as velocidades para cada fase tectônica sedimentar	59
Figura 35: Gravidade observada e anomalias Free-air, Bouguer e isostática residual para um modelo de transição área continental e oceânica realçando a equivalência das anomalias Free-air e Bouguer em áreas oceânicas	60
Figura 36: Mapa de anomalia gravimétrica ar-livre evidenciando as principais feições da bacia de Santos, como a Chaneira de Santos, a Dorsal de São Paulo e o Alto de Florianópolis, além da localização da principal linha sísmica do projeto	61
Figura 37: Plot 2D da batimetria e dados gravimétricos Free-air correlacionados com as principais zonas geomorfológicas e com a interpretação sísmica, ambos adquiridos na mesma campanha sísmica de navio da linha 0239-0366 sobre as mesmas coordenadas	63

Figura 38: Exemplo da orientação de um bloco dentro do GMS-YS. A direção X representa a direção do perfil a ser modelado. Y representa a direção de strike do bloco, que pode variar em relação a X. A extensão do bloco em Y pode ser infinita ou limitada em qualquer ponto	65
Figura 39: Modelos crustais de Airy (a) e Pratt (b)	67
Figura 40: Modelo Gravimétrico criado a partir da importação dos horizontes migrados e com a adição da profundidade isostática derivada do modelo de Airy	68
Figura 41: Mapa de Anomalia Geoidal derivado da altimetria de satélite (Sandwell & Smith, 1997). Traçado das zonas de fratura de Santa Helena (ZFSH), Vitória-Trindade (ZFVT), Martim Vaz (ZFMV) e de 24°S (ZF24°) e dos sistemas de zonas de fratura do Rio de Janeiro (SZFRJ) e de Rio Grande (SZFRG)	69
Figura 42: Modelo Gravimétrico derivado do primeiro mostrando uma maior variação da profundidade da “Moho”, porém com diferenças significativas quando comparado o dado calculado com o medido	70
Figura 43: Modelo Gravimétrico modificado do segundo incluindo uma crosta transicional que se estende ao longo do Platô de São Paulo até o limite offshore dos sedimentos evaporíticos, mantendo a crosta continental na zona da Dorsal de São Paulo	71
Figura 44: Modelo Gravimétrico modificado do terceiro levando limite da crosta transicional após a Dorsal de São Paulo, iniciando posteriormente a crosta oceânica efetiva em contato com a zona de transferências do Rio Grande	72

Índice de Tabelas

Tabela 1: Resumo dos Principais Métodos Geofísicos	18
Tabela 2: Divisão das Bacias pertencentes à Margem Continental Brasileira	35
Tabela 3: Tipos de Sedimentos na Bacia de Santo na Fase Pós-Rifte	47
Tabela 4: Tipo e Volume de Dados Disponíveis para Projetos de Graduação	51

Sumário

RESUMO

ABSTRACT

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

1 – INTRODUÇÃO.....	14
2 – ÁREA DE ESTUDO.....	16
3 – OS MÈTODOS GEOFÍSICOS	18
3.1. – O INTERIOR DA TERRA E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	19
3.2. – APLICABILIDADES E ESCOLHA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	22
4 – METODOLOGIA	27
5 – GEOLOGIA REGIONAL DA BACIA DE SANTOS	29
5.1. – GÊNESE DO OCEANO ATLÂNTICO.....	29
5.2. – EVOLUÇÃO TECTONO-ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE SANTOS.....	36
6 – DADOS SELECIONADOS.....	51
7 – RESULTADOS	54
7.1. – INTERPRETAÇÃO DOS DADOS SÍSMICOS E DE POÇOS.....	54
7.2. – ESTIMATIVA DAS VELOCIDADES SÍSMICAS (TEMPO-PROFUNDIDADE)	58
7.3. – AVALIAÇÕES DO MAPA GRAVIMÉTRICO REGIONAL E DOS PERFIS GRAVIMÉTRICOS	60
7.3. – GERAÇÃO DOS MODELOS GRAVIMÉTRICOS.....	64
8 – CONCLUSÃO	73
9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1. Introdução

O Brasil destaca-se mundialmente pelas suas diversidades naturais, dentre estas focaremos as Bacias sedimentares Brasileiras (Fig.1) como importantes fontes geradoras e armazenadoras de recursos econômicos derivados da deposição de material fóssil pretérito.

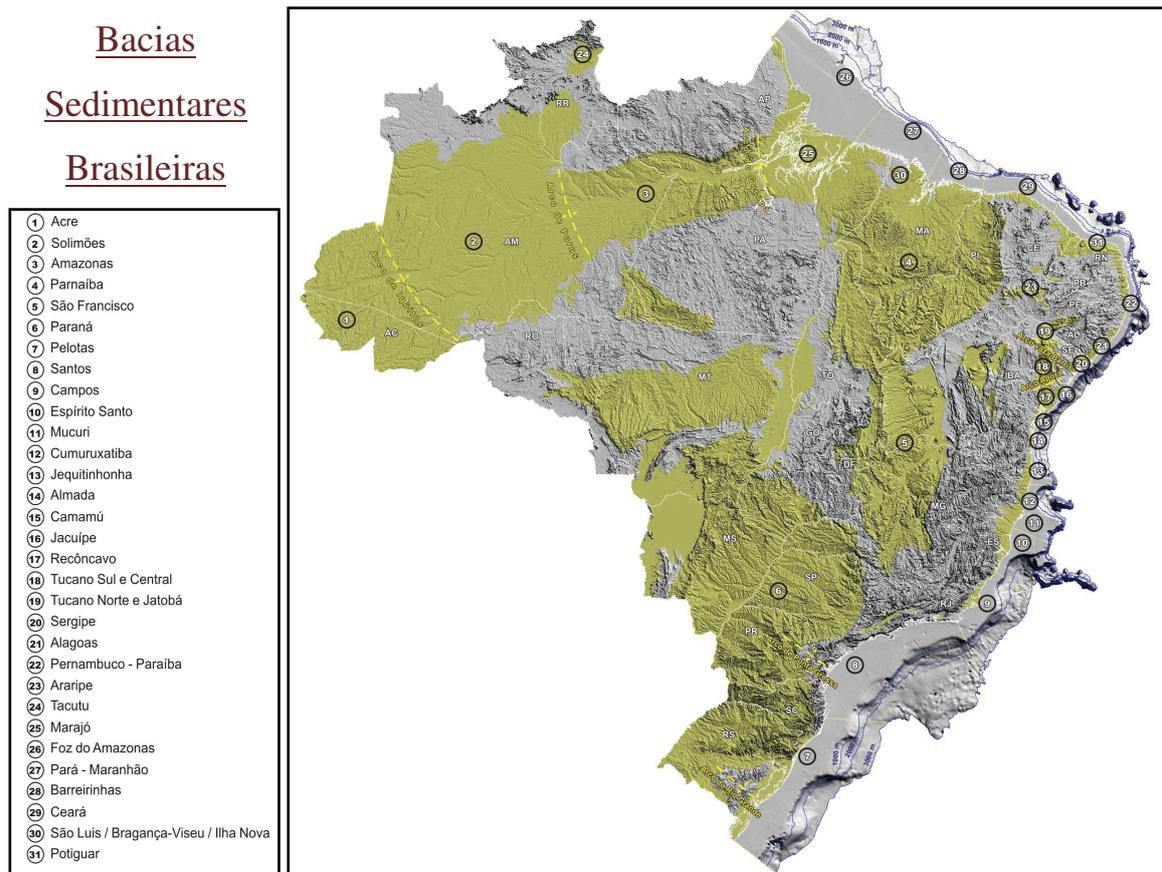


Fig.1: Mapa das Bacias Sedimentares Brasileiras (Boletim de Geociências da Petrobras).

Ao longo dos anos, inúmeros trabalhos concebidos por instituições acadêmicas e grandes petroleiras foram e são realizados nestas bacias com o intuito de entender os processos de formação e de evolução das mesmas, para que possam ser tomadas decisões de âmbito exploratório com o melhor embasamento possível. Estes estudos resultaram numa grande coleta de dados de natureza diversas, muitos em levantamentos geofísicos, que conseqüentemente resultaram em questionamentos sobre os aspectos gerais destas bacias, sustentando assim, trabalhos futuros.

Contudo, na maioria das situações relacionadas aos estudos da Terra, um método geofísico não é suficiente para chegar a uma conclusão de uma questão específica, já que o mesmo é passivo de ambiguidades ou incertezas na interpretação (Kearey, 2009). Para tal, se faz necessário que um ou mais métodos sejam integrados, gerando uma resposta que se aproxime do modelo real e com confiabilidade para que a mesma metodologia possa ser aplicada em outros casos similares, otimizando assim a utilização conjunta dos métodos.

De acordo com Dell'Aversana (2001 apud De Araújo 2005) diferentes estratégias podem ser aplicadas quando há disponibilidade de uma grande quantidade de dados de natureza diferentes, sejam eles provenientes de estudos geofísicos ou geológicos. Uma estratégia seria a criação de um modelo para cada parâmetro e, então, a realização da interpretação dos diferentes modelos de forma independente; neste caso, a integração ocorreria apenas na etapa final. Outra solução seria a geração de um modelo derivado da inversão conjunta de todos os diferentes grupos de dados, sendo a construção do mesmo resultado da inversão conjunta de todos os grupos de dados; neste caso, a integração começaria a partir dos dados iniciais e continuaria, progressivamente e iterativamente, nos processos de inversão e interpretação.

A partir desse cenário, o presente trabalho sugere a aplicação de uma metodologia que envolve a integração de estudos geofísicos, principalmente, e geológicos, com o intuito de resolver um problema de natureza regional e de suma importância para o entendimento do aspecto estrutural de uma bacia sedimentar. No caso, será realizada uma Modelagem Gravimétrica 2-D, auxiliada por dados sísmicos e de poços, visando o mapeamento da profundidade do embasamento e conseqüentemente sua caracterização na porção norte da bacia de Santos. Para tal, serão utilizados dados provenientes de campanhas realizadas na região de perfuração de poços exploratórios e de levantamentos gravimétricos (marinho e por satélite) e sísmicos.

De Mio (2005) justificou seu trabalho na baixa qualidade da resolução sísmica abaixo da espessa seção evaporítica aptiana encontrada na Bacia de Santos, que ocasiona uma baixa qualidade de imageamento, fato que por si só abre uma série de discussões sobre os aspectos crustais e da fase rifte desta bacia.

2. Área de Estudo

Localizada na margem atlântica brasileira encontra-se a Bacia de Santos (Fig.2), geologicamente delimitada ao Norte pela Bacia de Campos (Alto de Cabo Frio) e ao Sul pela Bacia de Pelotas (Alto de Florianópolis - Zona de Fratura de Florianópolis), apresentando uma área total aproximada de 350.000 km² que abrange os litorais dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Pereira, 1986).

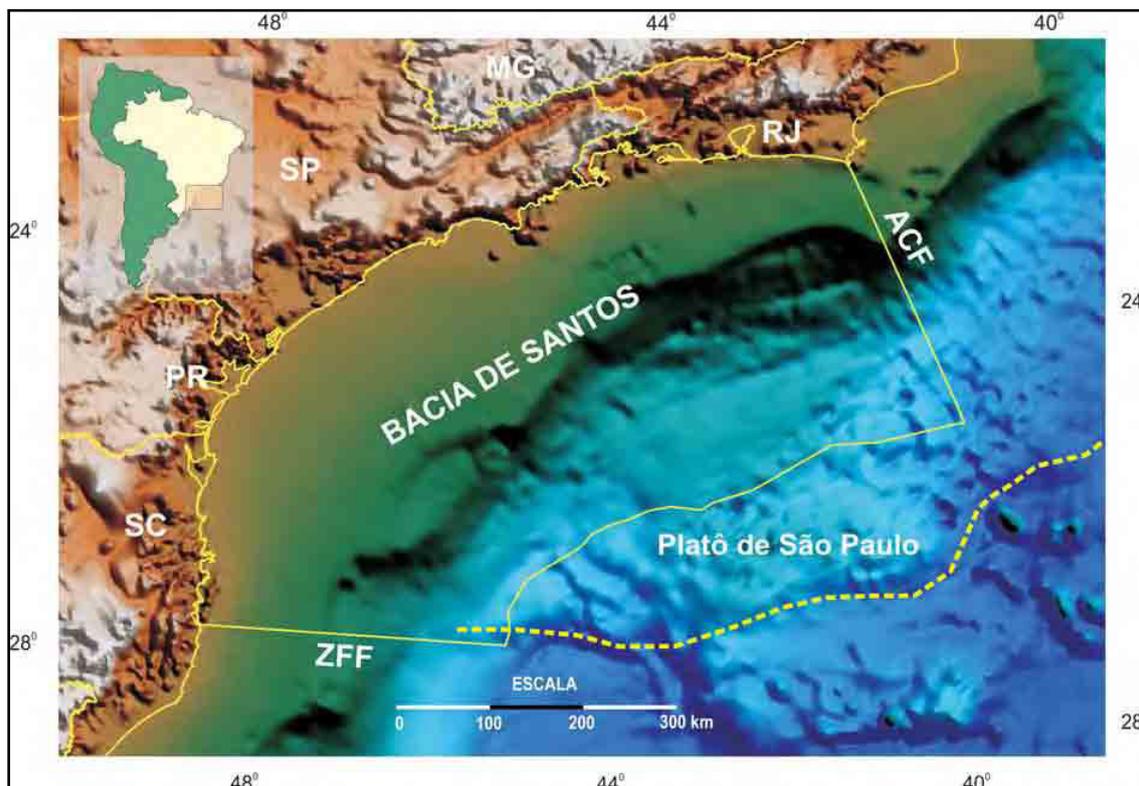


Fig.2: Localização e limites da Bacia de Santos (Fonte: De Mío *et al.* 2005).

ZFF = Alto de Florianópolis **ACF** = Alto de Cabo Frio — = Limite Offshore da Bacia de Santos

Essencialmente marinha, a Bacia de Santos compreende uma das maiores depressões do embasamento na costa brasileira com uma espessura sedimentar da ordem de 10 km nos depocentros (Pereira & Macedo, 1990). Porém, mesmo sendo a seção sedimentar desta bacia bastante conhecida e descrita com base na grande quantidade de dados geofísicos adquiridos, sísmicos principalmente, pouco se conhece sobre arcabouço estrutural-tectônico, assim como os sedimentos da fase rifte devido à espessa deposição salífera de idade aptiana que impede uma boa visualização sísmica abaixo dessa camada, exceto em locais com ausência de sal.

Morfologicamente a Bacia de Santos se diferencia das demais bacias da margem sudeste Brasileira por apresentar uma área com dimensão de cerca de 1000 km de comprimento e 150 km largura aproximadamente denominada Platô de São Paulo (Fig.2). Esta feição pode ser definida por uma acentuada diminuição no gradiente batimétrico, tendo início no pé do talude continental (em torno das profundidades de 1600 a 2900 m) e terminando no sopé continental, em torno das isóbatas de 3000 e 3300 (Palma, 1984). Esse relevo é marcado pela intensa deformação halocinética, expressa na batimetria como irregularidades deprimidas no fundo do mar (Mohriak, 2003) sendo explicada mais a frente.

Do ponto de vista do potencial petrolífero, a Bacia de Santos constitui uma importante fronteira exploratória devido às importantes descobertas relacionadas a grandes campos de gás nas décadas de 80 e 90 e aos reservatórios do pré-sal recentemente. Estes fatos, aliados à existência de prováveis *plays* exploratórios em toda seção estratigráfica, explicam o interesse demonstrado por empresas e instituições governamentais, reforçando assim importância desta bacia no contexto exploratório nacional.

Por tal motivo, o conhecimento sobre a crosta é de grande importância, pois seu entendimento é utilizado em estudos tectônicos para reconstrução histórica da bacia e serve de parâmetro de entrada nos estudos de modelagem visando reconstruir os processos de geração, migração e acumulação de hidrocarbonetos. Como exemplo, podemos citar reservatórios da fase rifte mapeados que estão relacionados em muitos casos aos altos do embasamento na nesta bacia.

De fato, o mapeamento do embasamento é um estudo de suma importância em qualquer bacia sedimentar, porém a escolha da Bacia de Santos como área de estudo foi fundamentada, além do seu grande desafio geofísico e geológico, em três quesitos que seriam: número considerável de referências bibliográficas (histórico da Bacia), número e variedade de dados geofísicos disponíveis e interesse econômico, sendo os três abundantes nesta bacia.

3. Os Métodos Geofísicos

“Antigos pensadores dividiam o universo em duas partes: o céu, acima, e o inferno, embaixo. O céu era transparente e cheio de luz, e eles poderiam enxergar diretamente suas estrelas e seus planetas vagantes. O solo era opaco, um inacessível mundo inferior da escuridão, fechado para os olhos humanos.”

Frank Press et. al. (2006)

A Geofísica, como definida pela maioria dos autores, é a ciência que estuda de forma indireta a Terra através dos princípios físicos, possibilitando uma melhor compreensão da estrutura, composição e dinâmica do planeta.

Essa grande ciência abrange diferentes tipos de investigação em diferentes escalas, porém para fins desse trabalho, serão somente focados os métodos que utilizam medidas em superfície ou próximo a ela (levantamentos geofísicos) com o intuito de revelar as propriedades do interior da Terra, que variam verticalmente e lateralmente (Keary, 2009).

Podem-se dividir esses métodos em dois grupos, sendo o primeiro relacionado aos que fazem uso dos sinais naturais da Terra, e o segundo que envolvem a aplicação de energia gerada artificialmente. Independente dessa classificação, cada método mede uma propriedade física específica (Tabela 1), sendo sua aplicabilidade relacionada diretamente a esse fato.

<i>Método</i>	<i>Parâmetro Medido</i>	<i>Propriedade Física</i>
Sísmico	Tempo de percurso de ondas sísmicas refletidas / refratadas	Densidade e módulos elásticos
Gravitacional	Varição espacial da força do campo gravitacional da Terra	Densidade
Magnético	Varição espacial da força do campo geomagnético	Suscetibilidade Magnética e Remanência
Resistividade	Resistência da Terra	Condutividade Elétrica
Polarização Induzida	Voltagens de polarização ou resistência dependente da frequência	Capacitância Elétrica
Potencial Espontâneo	Potenciais Elétricos	Condutividade Elétrica
Eletromagnético	Resposta à radiações eletromagnéticas	Condutividade e Indutância Elétrica
Radar	Tempo de percurso de pulsos de radar refletidos	Constante Dielétrica
Radioativo	Radioatividade	Propriedades Radioativas
Geotérmico	Propagação do calor	Fluxo Térmico

Tabela 1: Resumo dos Principais Métodos Geofísicos (Modificada Keary, 2009).

3.1 – O Interior da Terra e suas Características Físicas

Partindo do conceito básico sobre os métodos Geofísicos, fica claro que para visar o melhor entendimento do alvo, se faz necessário uma análise inicial, quando possível, na qual serão identificadas as propriedades físicas presentes e seus conteúdos de resposta, para que conseqüentemente seja feita a melhor escolha do método ou conjunto de métodos a serem utilizados. Sendo assim, esse sub-tópico irá abordar as principais características do interior da Terra, que é foco do trabalho.

O grau de conhecimento atual do interior da Terra é dado através dos estudos geofísicos diversos em investigações rasas e através da propagação das ondas sísmicas (Fig.3.2), das lavas vulcânicas e da composição de meteoritos para entendimento camadas litológicas mais profundas (Keary, 2009). A utilização de poços é naturalmente a melhor forma de investigação que retrata a geologia em sub-superfície, porém é limitado pela profundidade e pelo alto custo.

Através desses estudos, foi estipulada uma distância entre a superfície até a camada mais interna da Terra em aproximadamente 6.370 km, sendo essa grande estrutura dividida em quatro porções principais, partindo da mais rasa para a mais profunda, por suas características reológicas (Fig.3.1): a porção rígida denominada Litosfera, a porção com comportamento dúctil denominada Astenosfera, a porção com comportamento rígido, novamente, denominada mesosfera e por último a Endosfera, apresentando na sua porção superior um comportamento fluido e na inferior um comportamento dúctil (Press *et. al*, 2006).

Um ponto interessante dentro das características físicas do interior da Terra é o grau geotérmico (Fig.3.3), no qual todos os cálculos estimam que ocorra aumento da temperatura com a profundidade, mas a taxa de aumento da temperatura reduz-se com a profundidade. Se o gradiente de 20-30 °C/100 km observado perto da superfície fosse constante, implicaria num núcleo totalmente fundido com temperaturas extremamente elevadas, na ordem das dezenas de milhares de graus, ao contrário do que se prevê pelos estudos de sismologia.

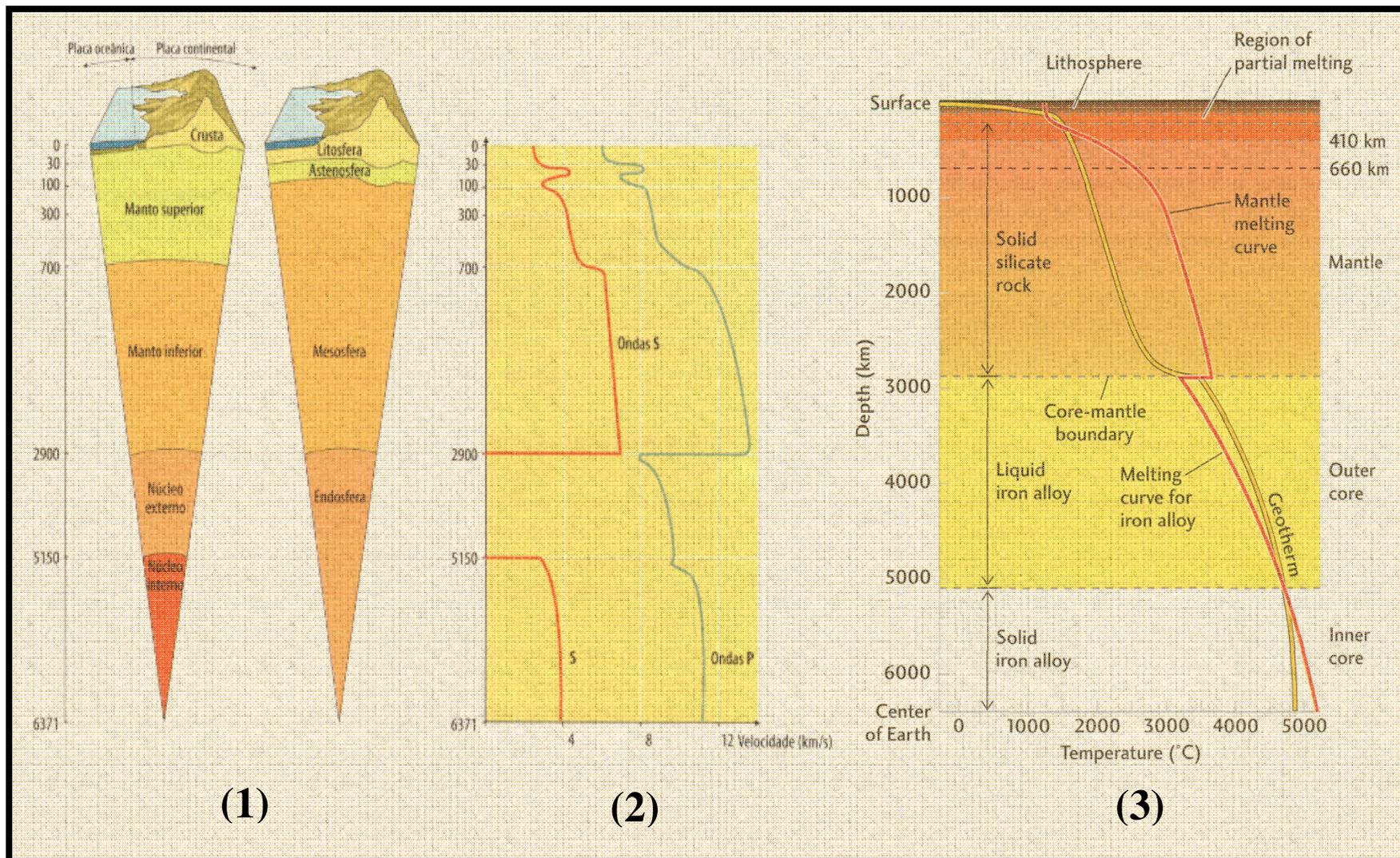


Fig.3: (1) Esquema Estruturação do Interior da Terra apresentando camadas (2) e suas respectivas velocidades de propagação das ondas sísmicas S e P (3) e as variações do gradiente geotérmico (Modificada Press *et. al.* ,2006)

Todavia, é na Crosta, aproximadamente 2% do volume terrestre considerando-se uma espessura média de 30 km, que estão concentrados as maiores quantidades de estudos de natureza geológica e geofísica, pois nela são encontrados os recursos minerais e energéticos que estão ao alcance do homem, além de possuir a maior variabilidade em termos composicionais. A crosta é dividida em diferentes tipos, mas num contexto geral podemos destacar dois como os mais importantes, que seria. Crosta Contiental e Crosta Oceânica (Press *et. al.* 2006).

A crosta continental é composta de rochas félsicas a ultramáficas, tendo composição média granodiorítica e espessura média entre 30 e 40 km nas regiões tectonicamente estáveis (crátons), e entre 60 a 80 km nas grandes cadeias montanhosas como os Himalaias e os Andes. As rochas mais antigas da crosta continental possuem até 4,28 Ga e existem rochas novas ainda em formação. Já a crosta oceânica possui espessura média de 7 km e sua composição é basáltica e as rochas mais antigas são datadas de 160 Ma.

A crosta de uma maneira geral apresenta baixos valores de densidades em torno de $2,67 \text{ g/cm}^3$, sendo sua contribuição para o campo gravimétrico total relativamente pequeno e apresentando contrastes de densidade sutis. Porém de acordo com De Mio (2005), quando se considera a anomalia residual observa-se uma grande variação de espessuras entre áreas cratônicas, áreas de bacias marginais e áreas com crosta oceânica. Estas variações produzem anomalias gravimétricas bastante expressivas devido às variações na profundidade do manto (Fig.4). A fronteira entre manto e crosta envolve um evento físico, que é a descontinuidade de Mohorovicic (ou Moho) que ocorre em virtude da diferença de composição entre essas duas grandes camadas.

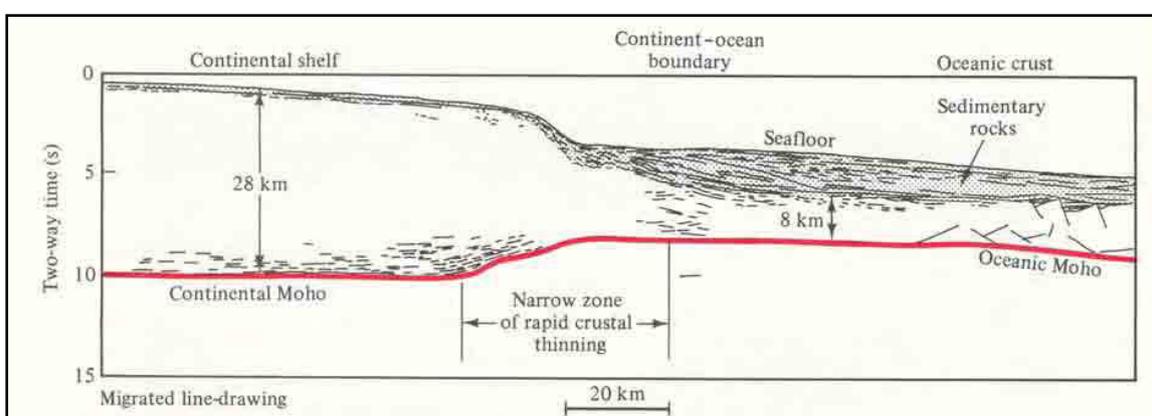


Fig.4: Exemplo de crosta continental afinada em região de margem passiva (De Mio, 2005).

3.2 – Aplicabilidades e Escolha dos Métodos Geofísicos

Ao longo dos anos, estudos com diferentes métodos geofísicos definiram o valor da sua aplicabilidade em inúmeros casos relacionados a corpos em sub-superfície, gerando assim uma cultura para utilização ou não desses métodos. Somando-se a isso, esses estudos provaram que a integração entre os mesmos é fundamental para alcançar o melhor resultado possível.

O sub-tópico anterior passou o entendimento em escala macro da estruturação do interior da Terra, na qual a composição, a profundidade, a pressão e a temperatura são cruciais para definição física do meio, dentre outros fatores. Na maioria dos estudos geofísicos é a variação local, denominada anomalia geofísica, segundo um parâmetro mensurável relativo a algum valor natural de função, que é de interesse principal (Keary, 2009).

Para fins desse trabalho, cujo objetivo é a caracterização da crosta, serão focados os métodos geofísicos que tenham sensibilidade para tal. Partindo de uma análise inicial bibliográfica de trabalhos realizados em diferentes bacias, foi constatado que as utilizações da sísmica, dos dados de poços exploratórios e dos métodos potenciais foram e são extensivamente aplicados com os mesmos fins propostos. Meisling *et al.* (2001) e Karner (2000) apontam que quando há precariedade do imageamento do embasamento por parte do imageamento sísmico, as análises dos métodos potenciais podem suprir essa deficiência.

Se voltarmos especificamente para a Bacia de Santos, devemos destacar os trabalhos de Leyden *et. al.* (1971), Guimarães *et. al.* (1982) e Chang & Kowsmann (1984), que utilizaram dados de métodos potenciais e De Mio (2005), que integrou dados provenientes de levantamentos sísmicos e potenciais; como importantes fontes bibliográficas.

A seguir será passado um breve resumo da metodologia dos métodos que serão utilizados no trabalho, descrevendo as vantagens e desvantagens na utilização dos mesmos.

Método Sísmico:

De longe, é o método geofísico mais utilizado e que apresentou uma grande evolução nas últimas décadas. Tal método é tão apreciado pela sua capacidade de gerar, através de reflexões ou refrações de pulsos sísmicos, emitidos ou naturais, imagens que se aproximam da verdadeira geometria em sub-superfície, fornecendo resultados bastante satisfatórios na identificação de sequencias geológica, especialmente nos casos estratificados (Fig.5).

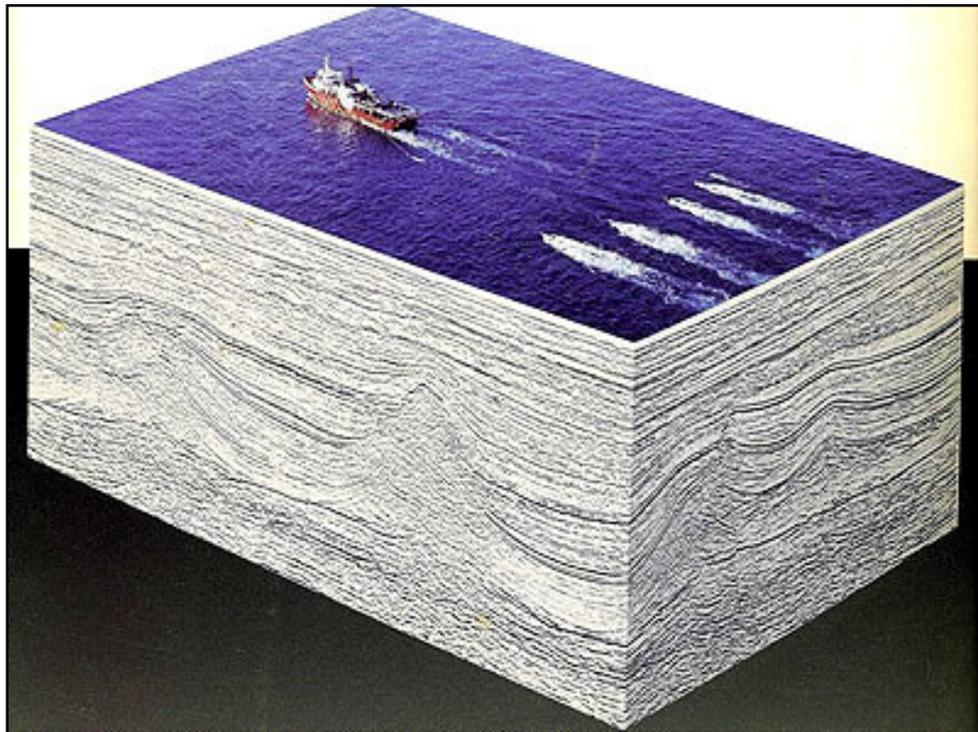


Fig.5: Esquema de uma aquisição sísmica e seu imageamento (Fonte: Unicamp)

Porém, problemas são notados ao longo do método, causando interferências diretas na imagem gerada e por consequência na interpretação. Estas limitações podem ser derivadas de vários fatores, onde os mais importantes são: perda de sinal em profundidade, imageamento abaixo de camadas de sal ou basaltos e baixa resolução vertical.

Estes obstáculos podem ser superados com o aperfeiçoamento de metodologias de aquisição e processamento, que consequentemente eleva o preço, ou com a utilização de outros métodos geofísicos complementares.

Dados de Poços:

Talvez seja a melhor forma de retratar os corpos em sub-superfície, pois através deles pode-se fazer uma avaliação direta (testemunhos e amostra de calha) ou indireta (perfil de poço), diferenciando tipos de materiais e ambientes deposicionais, e estimar variações nas características físicas como resistividade, densidade, porosidade, velocidade de propagação de ondas, argilosidade do meio, mineralógica, dentre outros (Fig.6).

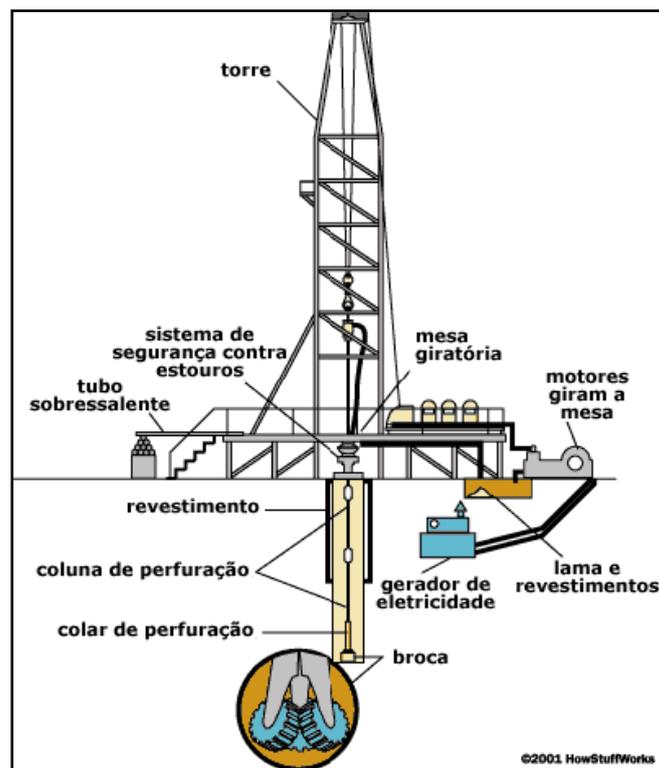


Fig.6: Esquema de um poço sendo perfurado

Assim, o método apresenta uma grande resolução vertical, diferentemente da sísmica, mas uma baixa resolução horizontal. Por isso, este método, sempre que possível, é amarrado com a sísmica, já que os dois em conjunto retiraram do dado uma boa estimativa de continuidade lateral e vertical. Porém esta amarração nem sempre é tão trivial, sendo necessário um estudo geoestatístico.

O alto preço da avaliação de poço é o fator predominante que impede que a mesma seja realizada em grande escala. Sendo quase sempre feita nas fases posteriores aos estudos geofísicos de superfície.

Método Gravimétrico:

Considerado um dos métodos geofísicos mais antigos, utilizado inicialmente na prospecção mineral (Telford *et. al.* 1990), baseia-se na variação do campo gravitacional da Terra causadas por diferenças de densidade dos corpos em sub-superfície (Keary, 2009).

Abrangendo desde escalas micro até escalas macro, esse método possibilita o entendimento do arcabouço tectônico-estrutural em nível crustal (Blakely & Connard 1989 apud De Mio 2005) e das principais feições regionais, tais como depocentros, calhas, províncias magmáticas, domos salinos, entre outras (Fig.7).

Como todo método, o gravimétrico também apresenta limitações, dentre elas podemos destacar a grande influência das respostas de corpos basálticos e evaporíticos, que acabam mascarando outros corpos e a perda de resolução em profundidade devido à superposição das respostas gravimétricas.

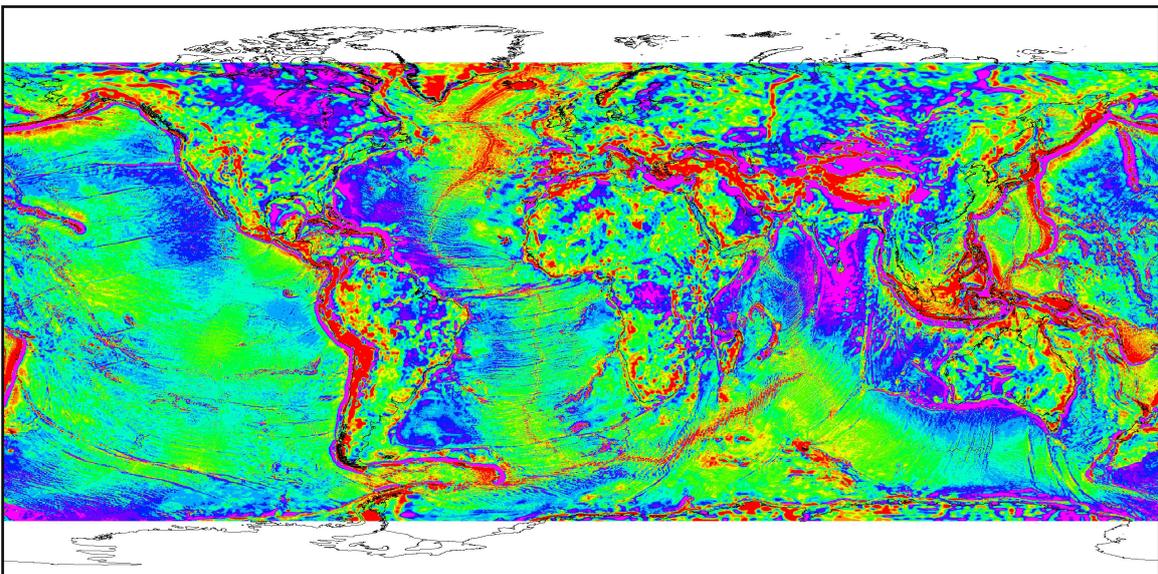


Fig.7: Mapa Global da Anomalia Free-air Derivada de Satélite (Fonte: Centre for Geodynamics, Geological Survey of Norway).

Um dos grandes atrativos é seu custo relativamente baixo se comparado a outros métodos, no que diz respeito a cobertura de extensas áreas nas bacias sedimentares. Por tal motivo, desde a segunda metade do século passado em diante tem sido utilizado na indústria petrolífera, sendo quase sempre um método primário no conhecimento de uma bacia, principalmente através de modelagens.

Em suma, a modelagem gravimétrica pode ser realizada em perfis 2D, 2,5D e em mapas 3D através de métodos interativos de tentativa e erro ou por procedimentos automáticos ambos com o objetivo de reproduzir a geometria e resposta gravimetria dos corpos em sub-superfície (Castro, 2005). Basicamente existem dois tipos de modelagem, no qual o fator diferenciador entre elas será a técnica empregada.

Modelagem Direta: Através de um processo de tentativa e erro as densidades e formas geométricas das fontes são assumidas e o valor de gravidade é calculado e comparado ao observado (Castro, 2005). Os parâmetros do modelo são alterados até que a anomalia calculada a partir dele seja ajustada satisfatoriamente aos dados observados.

Modelagem Inversa: Denominada também de Inversão Gravimétrica, esse tipo de modelagem se baseia no fato da resposta gravimétrica ser conhecida, na qual as densidades ou a geometria são incógnitas que deverão ser determinadas automaticamente por procedimentos estatísticos (Castro, 2005). Informações a priori são em muitos casos necessárias para que vínculos físicos sejam levando a redução do número de soluções possíveis e tornem o modelo geologicamente coerente. A modelagem inversa oferece algumas vantagens sobre a modelagem direta, pois suas características intrínsecas garantem estimativas da resolução dos parâmetros do modelo, da não unicidade, e a redução no tempo requerido para a interpretação dos dados.

Castro (2005) sinaliza que um problema adicional da modelagem gravimétrica é o fato do campo gravitacional ser aditivo, tornando o campo total a resultante do somatório dos efeitos gravitacionais das fontes presentes na região, desde a superfície até o manto superior. Sendo assim, os efeitos de fontes profundas podem ser satisfatoriamente atenuados através de filtros de separação regional-residual antes de se aplicar a modelagem gravimétrica.

Independente da escolha da modelagem direta ou inversa, problemas baseados em dados geofísicos estarão sujeitos à ambiguidade interpretativa inerente ao método, o que nos retorna a teoria da não unicidade descrita por Keary (2009), no qual para dada curva de dados observados admitem-se infinitas soluções ou vários modelos que representam a distribuição litológica e estrutural em sub-superfície, dentre as quais, muitas não são geologicamente possíveis (De Mio, 2005).

Portanto, podemos observar que todos os métodos apresentam vantagens e limitações, o que justifica o uso integrado dos mesmos para a obtenção das melhores respostas relacionadas à geologia, seja ela local ou regional. Sendo assim, o próximo tópico irá descrever a metodologia que será utilizada levando em consideração a capacidade de cada método quando aplicada a área de estudo.

4. Metodologia

Este tópico mostrará a metodologia aplicada ao projeto alinhado a uma linha cronológica ideal, no intuito de proporcionar ao estudo o tempo hábil para que ele seja concluído com seus objetivos centrais alcançados.

A 1ª Fase do projeto, se dá pela definição do tema a ser abordado na monografia e conseqüentemente à área de estudo e os métodos a serem utilizados (tópicos anteriores). A denominada 2ª Fase do projeto têm como objetivo o entendimento do contexto geológico referente à área de estudo e dos conjuntos de dados geofísicos a serem utilizados. Para tal, essa fase se baseia na leitura de bibliografias referentes ao projeto, sendo na sua grande maioria ligada a Bacia de Santos, porém contendo também análogos em outras bacias e âmbito nacional e mundial. De uma forma geral, essa parte do projeto está ligada aos tópicos 5 e 6, porém a leitura bibliográfica para o melhor entendimento será realizada ao longo de todo o projeto

A 3ª Fase será focada no tratamento dos dados geofísicos para que possam ser feitas as interpretações necessárias para atingir os objetivos propostos. Para tal, seguem os pontos a serem realizados nessa fase, dividido pelos diferentes conjuntos de dados.

- Interpretação dos dados sísmicos e poços;

- Utilização de um programa SMT Kingdom para tratamento de dados sísmicos e para interpretação Sísmica;
- Interpretação sísmica das feições, correlacionada aos dados de poços, mais importantes para o projeto utilizando as linhas sísmicas selecionadas (Fundo Marinho / Topo do Sal / Base do Sal / Crosta Continental e Oceânica);

- Estimativa das Dimensões, velocidades e densidades das Camadas Sedimentares através da integração dos dados sísmicos e de poços;
- Exportação dos dados após a conclusão das etapas descritas acima para servirem de “*input*” para os dados do modelo gravimétrico.

- Avaliação dos mapas regionais gravimétricos e geração do Modelo Gravimétrico da Seção Sedimentar;

- Utilização da suíte Oasis Montaj 7.2 (Geosoft Inc.) como programa para tratamento de dados gravimétricos, devido a sua versatilidade no tratamento de dados, em especial dos provenientes dos métodos potenciais, geração de mapas e manipulação dos sistemas de coordenadas.
- Interpretação de mapas de caráter regional através dos dados de satélites;
- Geração do Modelo Gravimétrico 2D para a seção sedimentar anteriormente interpretada na linha sísmica através da importação dos dados. Para essa etapa será utilizado o aplicativo GM-SYS (Geosoft Inc.), inserido no pacote do Oasis Montaj (Geosoft Inc.) descrito anteriormente;
- Subtração da resposta gravimétrica das camadas sedimentares, calculado pelo modelo gerado, do campo gravimétrico total, esperando um sinal próprio do embasamento e das estruturas subjacentes. Assim, se iniciará uma interpretação do sinal (grande comprimento de onda), sendo possível observar características próprias do embasamento ao longo de toda a Bacia de Santos.
- Inversão Gravimétrica final para estimativa da geometria do embasamento.

Por último as são apresentados às considerações finais nas quais os resultados alcançados, através das etapas anteriormente descritas, são comparados com os resultados propostos por outros trabalhos realizados na área, com o intuito de validar o resultado final.

5. Geologia Regional da Bacia de Santos

5.1 – Gênese do Oceano Atlântico Sul

Para entender a formação e evolução da Bacia de Santos, pertencente ao grupo das bacias da Margem Continental Brasileira (Quadro 1), se faz necessário compreender o contexto geológico na qual esta bacia sedimentar está inserida.

Partindo desse princípio é preciso voltar ao supercontinente Gondwana (Fig.8), que atualmente correspondente aos continentes do Hemisfério Sul (Antártida, América do Sul, África e Oceania), oriundo da separação do Pangeia há aproximadamente 200 Ma no Jurássico Superior (Press *et. al.* 2006). Paralelo a isso ao norte, a América do Norte e Eurásia (Europa e Ásia) ainda estavam ligados formando o supercontinente de Laurásia (Fig.8).

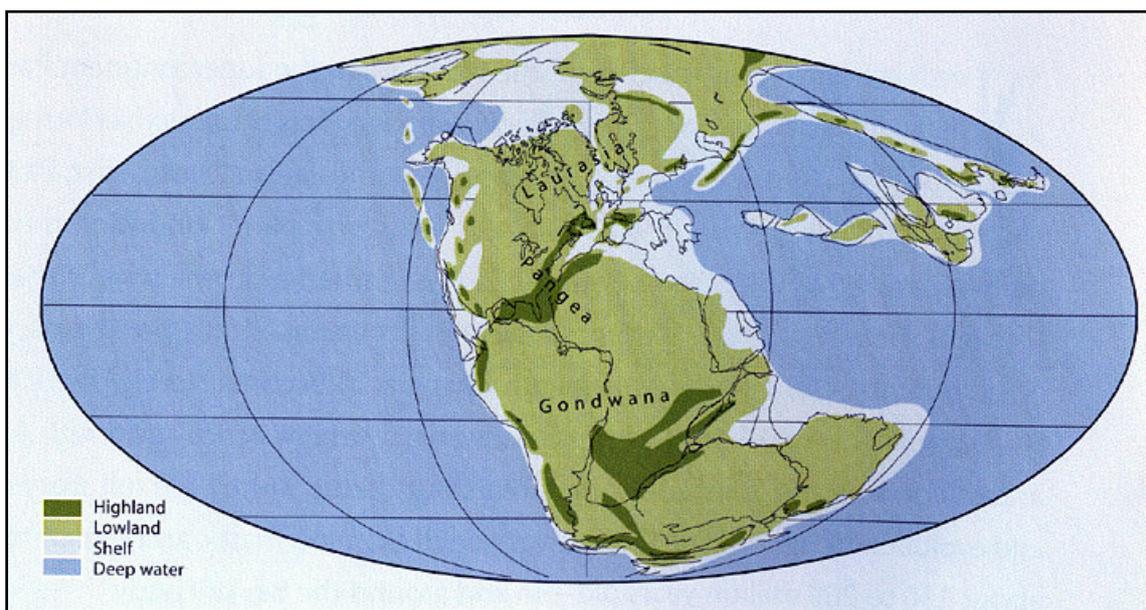


Fig.8: Supercontinente Gondwana e Laurásia antes da Ruptura (www.nrcan.gc.ca)

A ruptura do Supercontinente Gondwana iniciada há aproximadamente 185 milhões de anos e controlado por movimentações tectônicas presente até hoje com algumas diferenciações (Fig.9), gerou a separação entre os continentes Americano e Africano através do mecanismo de rifteteamento. Essa separação é apontada como responsável pela gênese do Oceano Atlântico Sul.

Age of Oceanic Lithosphere (m.y.)

Data source:

Muller, R.D., M. Sdrolias, C. Gaina, and W.R. Roest 2008. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.

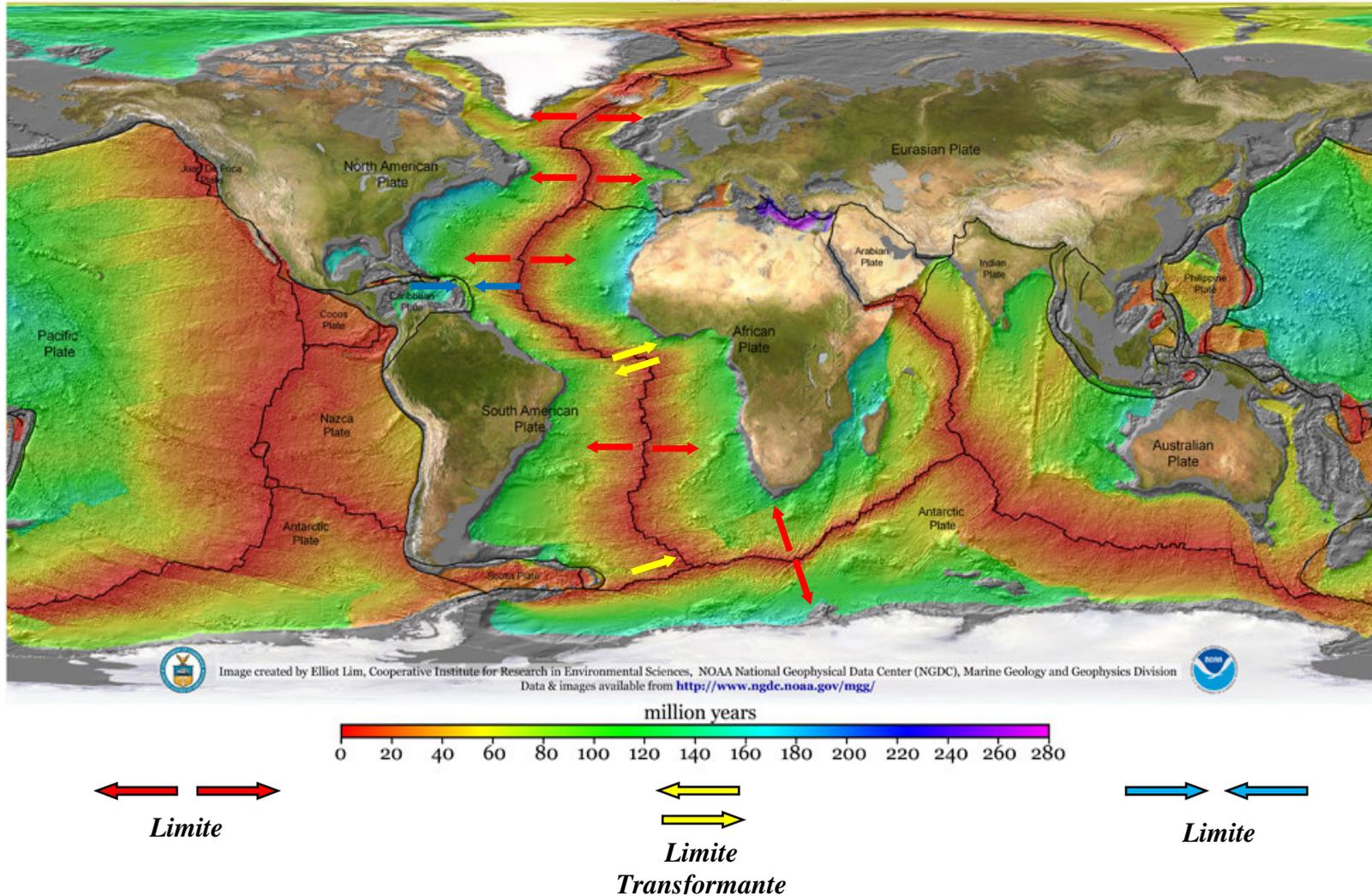


Fig.9: Mapa Global dos Limites Tectônicos Atuais no Oceano Atlântico (Modificado do site da NOAA).

De uma maneira geral, esse grande evento afetou inicialmente as atuais margens continentais sul-sudoeste africana e sul-americana (Fig.10), e posteriormente as margens norte-nordeste da América do sul e oeste da África (Alves, 2002). Ainda de acordo com Alves (2002), o Oceano Atlântico Central está relacionado à ruptura das atuais margens continentais leste da América do Norte e Central, noroeste da África e sudoeste da Europa. No caso do Atlântico Norte, essa ruptura está relacionada às atuais margens nordeste da América do Norte, margem sudoeste e sudeste da Groenlândia e noroeste da Europa.

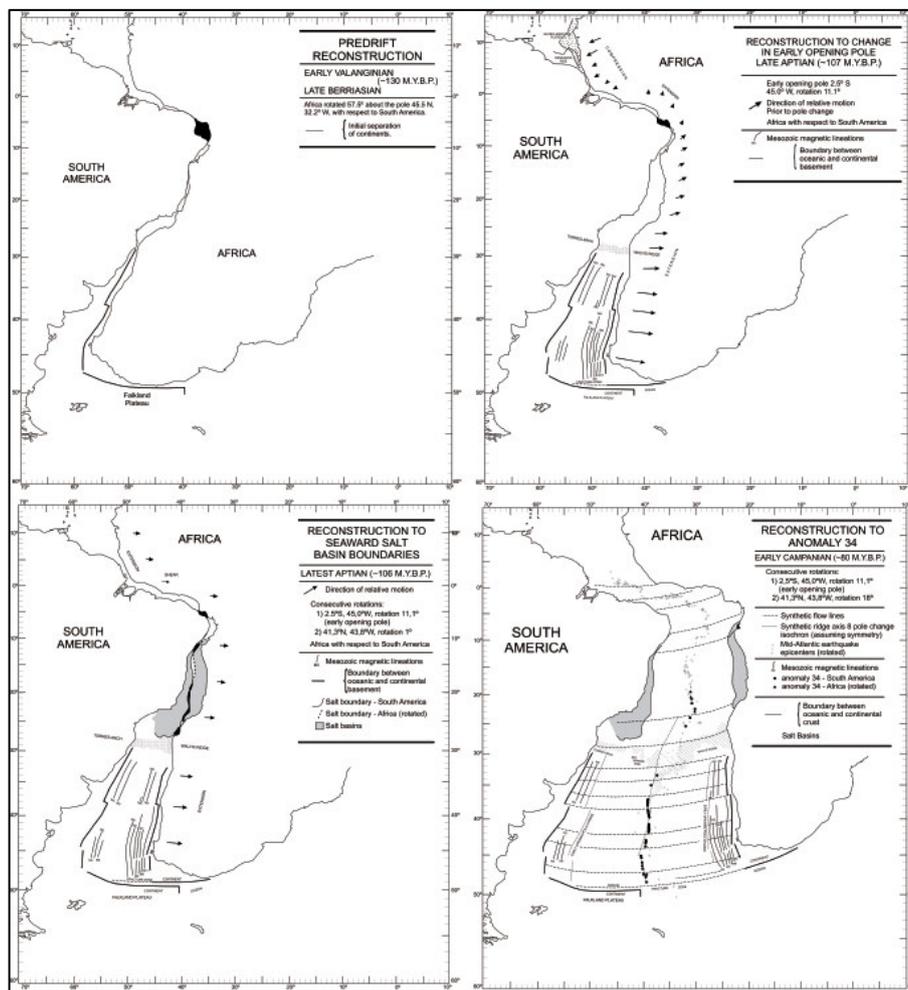


Fig.10: Reconstrução da abertura do Atlântico Sul, do Eo-Cretáceo (130 Ma) ao Campaniano (80 Ma), mostrando a configuração dos continentes, os polos de rotação e os vetores de movimentos das placas (Rabinowitz & LaBrecque 1979).

Voltando o foco para a margem brasileira (Fig.13), Alves (2002) apresenta diferentes padrões tectônicos estruturais ao longo da margem brasileira, na qual são definidos dois regimes para esse grande evento, anteriormente constatados pelo trabalho clássico de Ponte e Asmus (1978).

O primeiro está relacionado à margem equatorial (Tabela 2) afetada por um padrão complexo de deformação decorrente e por movimentações “strike-slipe” entre as placas litosféricas (Fig.10), indicando assim uma movimentação transcorrente nos estágios iniciais do desenvolvimento das bacias, e posteriormente por movimentações divergentes (Fig.10).

O segundo regime está relacionado tanto à margem sudeste quanto a margem Nordeste-Sudeste (Tabela 2), hoje conhecida como margem leste brasileira (Papaterra, 2010), ambas ao sul da primeira, apresentando padrão distensivo, caracterizando uma movimentação divergente (Fig.10).

Todavia, diferentes modelos e interpretações têm sido propostos para explicar o evento que desencadeou a criação e evolução da Margem Continental brasileira (Fig.13), porém de uma maneira geral há três abordagens clássicas (Papaterra, 2010): domeamento térmico ou intumescência do manto como causa do afinamento crustal (ASMUS e BAISCH, 1983), processos de estiramento litosférico como precursores da abertura, tendo as anomalias termais papel secundários (Chang *et. al.*, 1992); e processos mistos com diferentes taxas de estiramento ao longo da próto-margem (White e Mackenzie, 1989).

Esse trabalho não tem como objetivo discutir qual dos modelos comentados é mais válido e nem zonas percussoras desses movimentos, porém é importante frisar que o conhecimento do processo de formação de uma bacia sedimentar é fundamental para o entendimento dos aspectos estruturais das mesmas, facilitando assim as interpretações necessárias em termos crustais descritas mais a frente.

Partindo desse ponto, seguem duas esquematizações (Fig. 11/12), apresentando uma síntese dos modelos de abertura mais aceitos para margens do tipo atlântico, sendo o primeiro relacionado a uma distensão litosférica simétrica e o segundo relacionado a uma assimétrica. De uma forma geral, é possível observar que a geometria final de cada modelo é diretamente relacionada ao tipo de abertura e que com o passar das décadas a complexidade em volta dos mesmos é aumentada devido à evolução das técnicas de imageamento geofísicos o que proporcionou maior entendimento sobre as bacias e suas origens.

End-Member I: Symmetric Lithospheric Extension → *Pure Shear*

After Mackenzie (1978) and many others

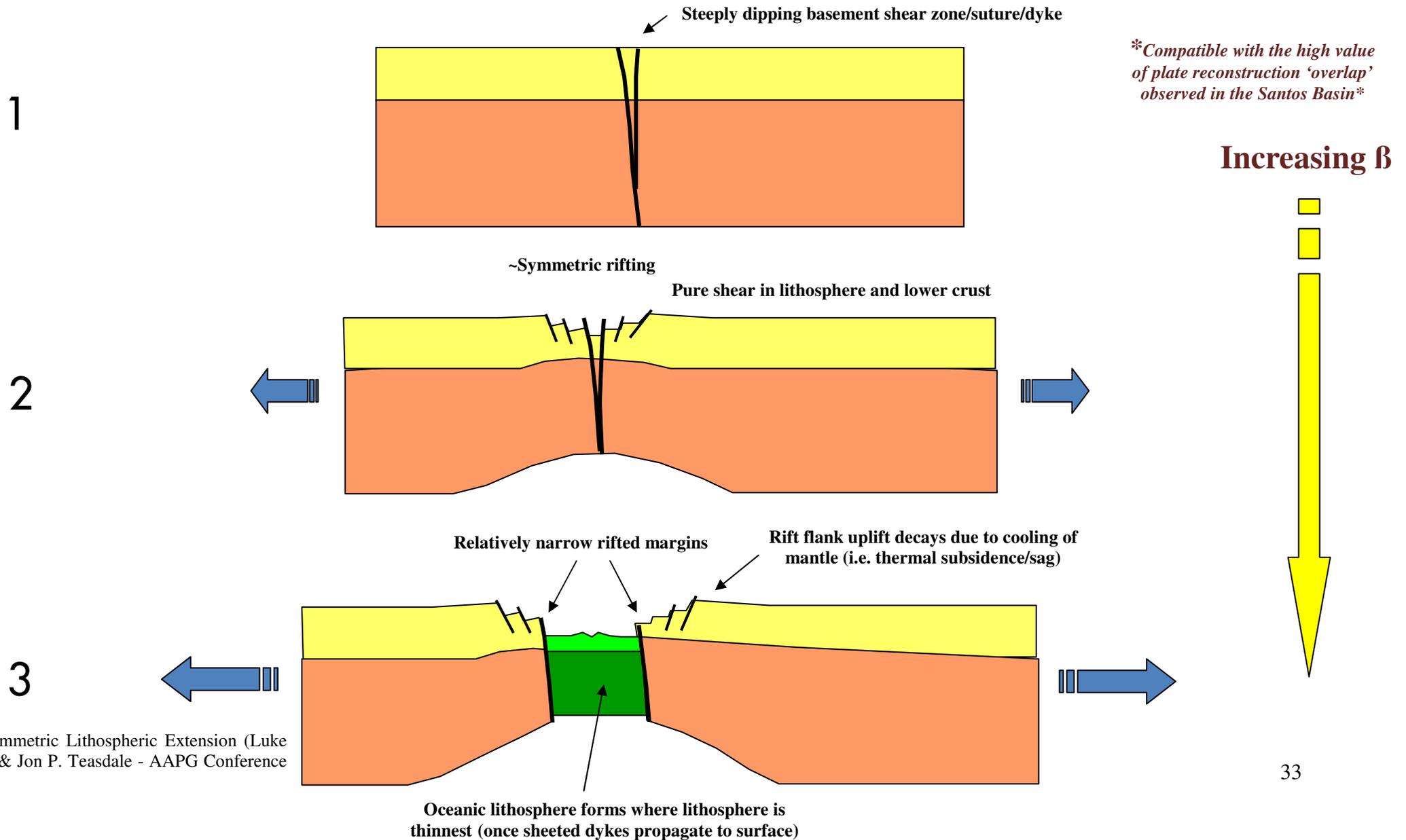


Fig.11: Symmetric Lithospheric Extension (Luke A. Jensen & Jon P. Teasdale - AAPG Conference 2009).

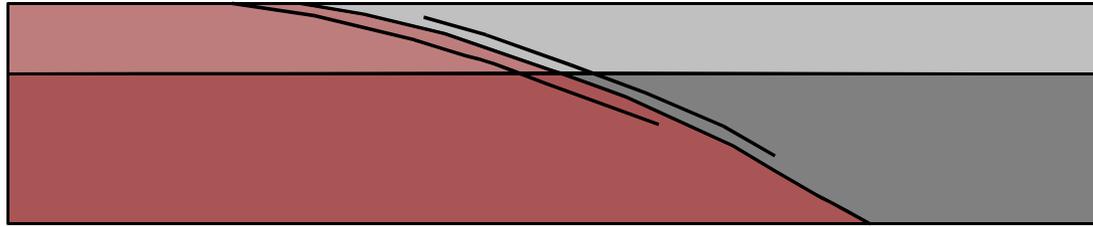
End-Member II: Asymmetric Lithospheric Extension → *Simple Shear*

After Wernicke (1985), Lister et al (1986, 1991), Etheridge et al (1992), Braun & Beaumont (1989), Ziegler & Cloetingh (2004), etc.

Shallowly-dipping Pan African suture

1

Compatible with the high value of plate reconstruction 'overlap' observed in the Santos Basin



Negligible rift flank uplift on "Lower Plate" margin

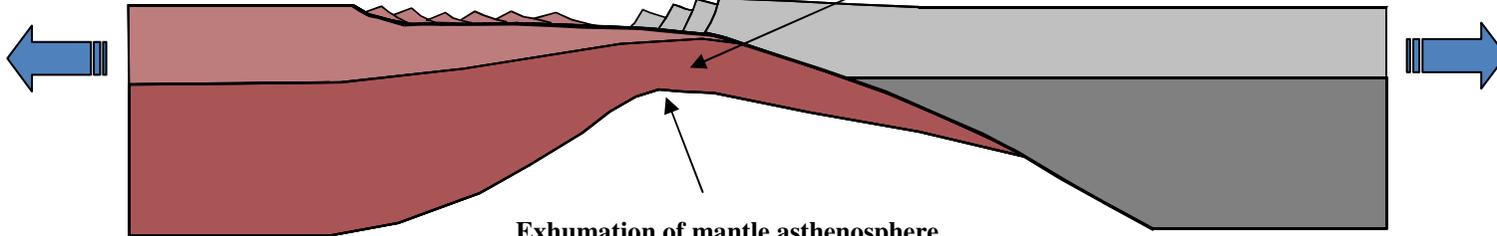
"Lower Plate" Margin

"Upper Plate" Margin

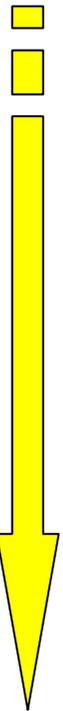
Rift flank uplift concentrated on "Upper Plate" margin

"Necking" of continental lithosphere

2



Increasing β



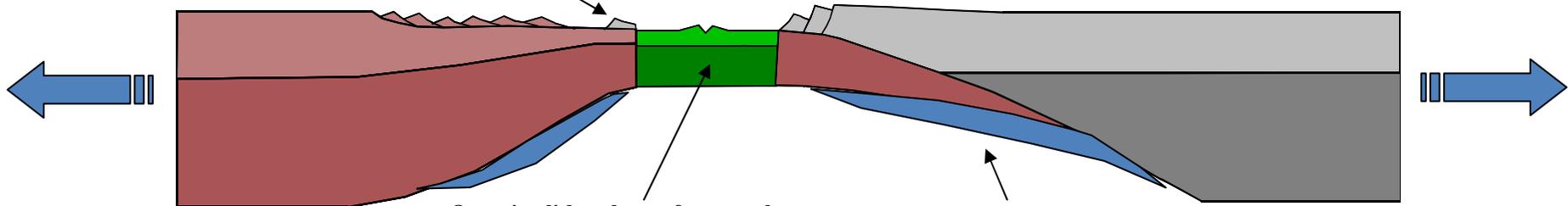
Exhumation of mantle asthenosphere (Adiabatic melting enhanced by plume?)

Ductile stretching in lower plate yields wide margin

Can have stranded "Upper Plate" blocks on "Lower Plate" margin

Rift flank uplift decays due to cooling of mantle (i.e. thermal subsidence/sag)

3



Oceanic lithosphere forms where lithosphere is thinnest (once sheeted dykes propagate to surface)

Mafic underplating due to cooling mantle

Fig.12: Asymmetric Lithospheric Extension (Luke A. Jensen & Jon P. Teasdale - AAPG Conference 2009).

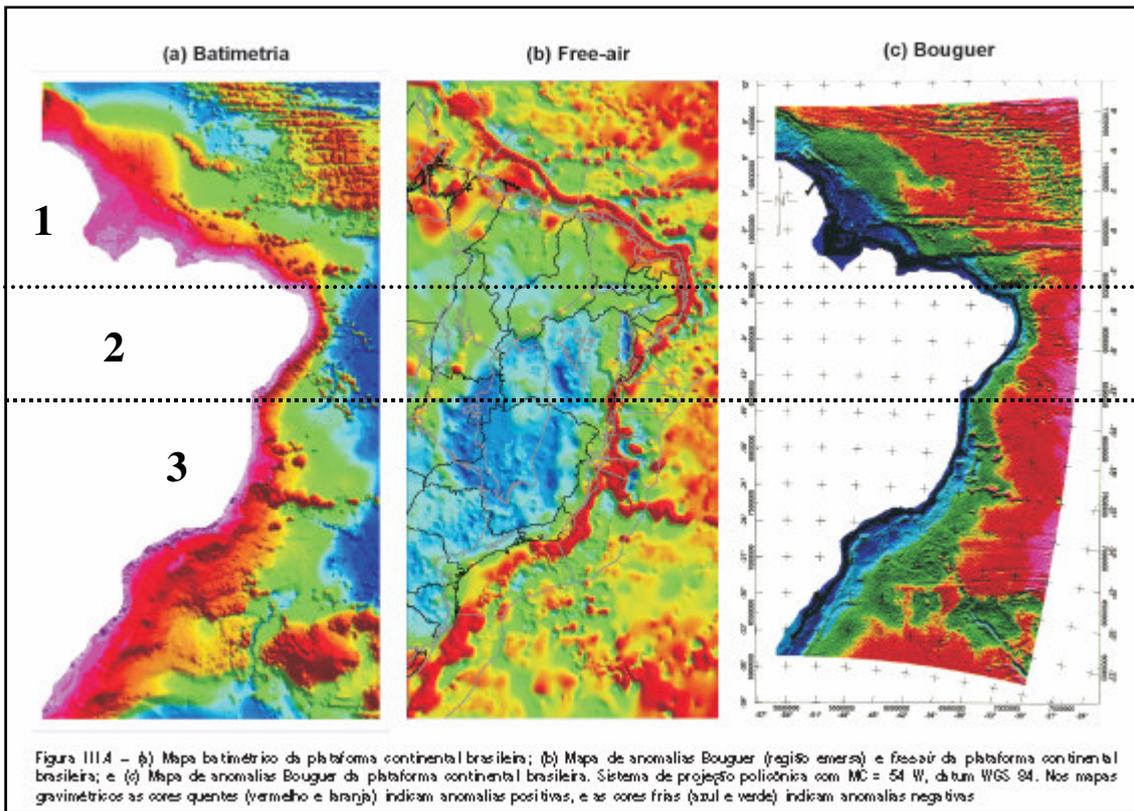


Fig. 13: Mostra o conjunto de mapas derivados da interação de dados aéreos, terrestres, marinhos e de satélite (batimetria e gravimetria) na Margem Continental Brasileira. (A) apresenta o mapa batimétrico da margem continental brasileira / (B) apresenta o mapa de anomalias *free-air* / (C) o mapa de anomalias Bouguer. (Modificado Bizzi, 2003)

<u>1. Margem Equatorial</u>	<u>2. Margem Nordeste</u>	<u>3. Margem Leste</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Bacia da Foz do Amazonas - Bacia Pará–Maranhão - Bacia de Barreirinhas - Bacia de Piauí–Camocim - Bacia do Ceará–Mundaú - Bacia Potiguar 	<ul style="list-style-type: none"> - Bacia de Pernambuco–Paraíba - Bacia Sergipe–Alagoas - Bacia de Jacuípe 	<ul style="list-style-type: none"> - Bacia de Camamu - Bacia de Almada - Bacia de Jequitinhonha - Bacia de Cumuruxatiba - Bacia de Mucuri - Bacia do Espírito Santo - Bacia de Campos - Bacia de Santos - Bacia de Pelotas

Tabela 2: Divisão das Bacias pertencentes à Margem Continental Brasileira (Bizzi, 2003)

Partindo desse ponto, esse tópico irá destacar as principais fases relacionadas ao movimento tectônico de separação dos continentes americano e africano (Fig.10) em conjunto com a descrição dos tipos dos ambientes sedimentares que predominaram ao longo de cada fase exclusivamente na Bacia de Santos (foco do estudo).

5.2 – Evolução Tectono-estratigráfica da Bacia de Santos

A bacia sedimentar de Santos é definida por quatro estágios associados às diferentes fases tectônicas (Fig.12) que atuaram ao longo de sua evolução (Asmus e Ponte, 1973; Asmus, 1982; Pereira e Macedo, 1990; Pereira e Feijó, 1994), na qual Chang *et al.* (1992) credita a um sistema geológico de Riftes denominado Sistema de Riftes do Leste Brasileiro, sendo elas: (a) Pré-Rifte; (b) Sinrifte; (c) Transicional; (d/e) Pós-Rifte.

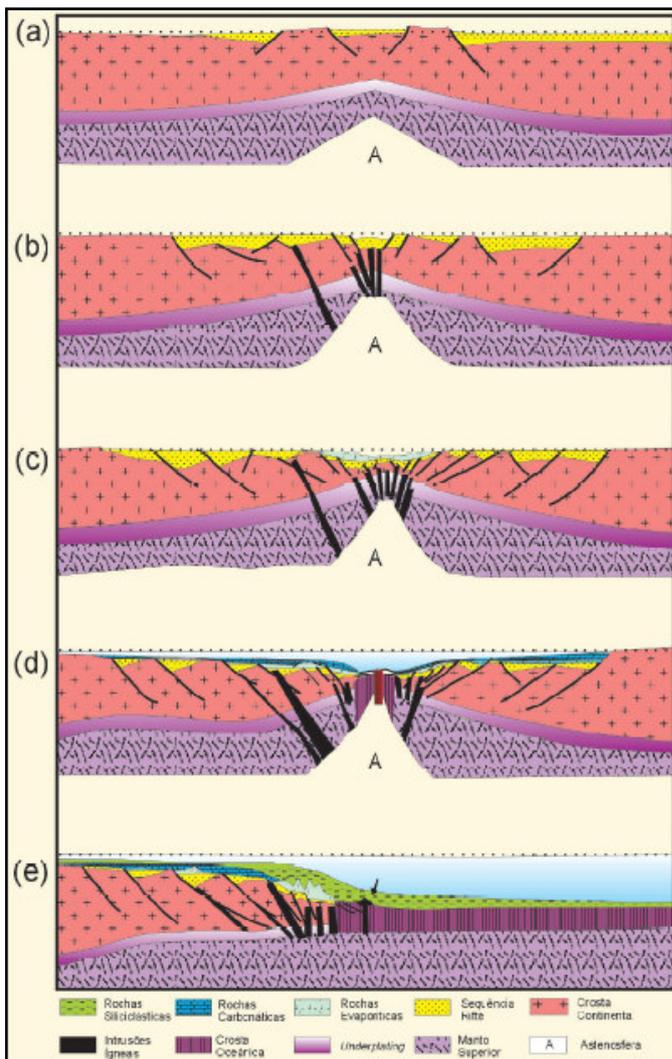


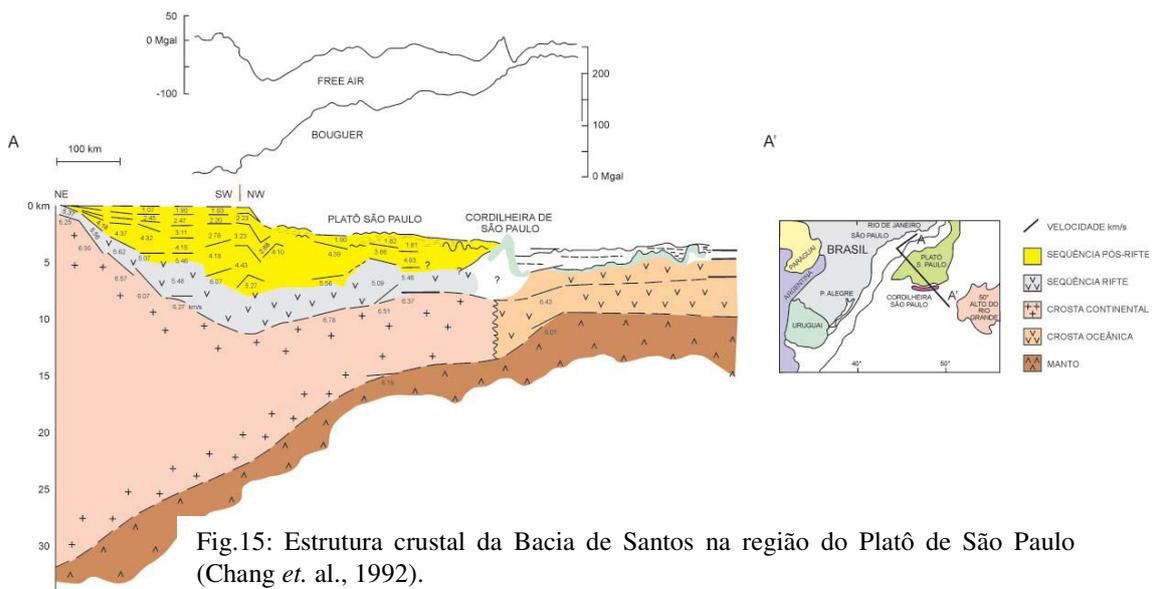
Fig.14: Evolução geotectônica de uma bacia Rifte representada pelas letras a, b, c, d, e (Cainelli e Mohriak, 1999).

Em termos sedimentares, Chang *et al.* (1992) apresenta cinco megasseqüências que seriam: Continental, Transicional Evaporítica, Plataforma Carbonática Rasa, Marinha Transgressiva e Marinha Regressiva, na qual as duas últimas são relacionadas a ciclos eustáticos de margem passiva (Papaterra, 2010). De uma maneira geral, elas representam os clássicos paleoambientes “do Continente”, “do Lago”, “do Golfo” e “do Mar” (Ponte e Asmus, 1978 *apud* Papaterra).

Embasamento e a fase Pré-Rifte

De acordo com Pereira & Macedo (1990), o embasamento aflorante na área continental se projeta para leste mergulhando para o oceano a partir dos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, sendo o mesmo cortado por sistemas de falhas transcorrentes e compressionais com direção predominante NE-SW.

Na parte rasa da Bacia de Santos o embasamento é caracterizado como cristalino formado por granitos e gnaisses de idade pré-cambriana composto predominantemente pelas rochas do Cinturão Orogenético Ribeira, aflorantes na região dos estados de Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná, e pelas rochas da Faixa Dom Feliciano, no estado de Santa Catarina. Acredita-se que a porção mais profunda seja composta de crosta continental estirada (transicional) relativa ao mesmo cinturão até a passagem para crosta oceânica.



Chang e Kowsmann (1984) inferiram o limite da base da crosta usando o trabalho de modelagem gravimétrica realizado por Guimarães (1982). Ambos os trabalhos sugeriram que o embasamento na bacia apresenta duas mudanças significativas no seu gradiente de afinamento. A primeira mudança foi denominada Charneira de Santos (Pereira, 1986) e está relacionada à faixa onde a crosta continental apresenta efetivamente seu afinamento em direção ao mar. À segunda localiza-se na zona onde a crosta passa a apresentar um menor afinamento relativo, correspondente à área do Platô de São Paulo.

Durante a fase de estiramento crustal, a área na qual se implantava a Zona de Transferência de Florianópolis separaria reologias crustais distintas, sendo observado na parte norte uma crosta mais aquecida, tendo sua plasticidade aumentada e ao sul uma crosta mais fria e rígida.

A denominada fase Pré-Rifte, é caracterizada por derrames basálticos Eocretáceos (Formação Camboriú) que ocorreu ao longo de toda bacia (Fig.16), sendo sobrejacentes ao embasamento e subjacentes ao preenchimento sedimentar posterior. Este evento é correlacionado, por vários autores, aos derrames Serra Geral (Bacia do Paraná) que está ligado aos derrames Entendeka (África), cujo vulcanismo basáltico apresenta idades entre 119 a 147 Ma, com seu clímax entre 130 e 120 Ma (Fig.16). Esse derramamento constitui o chamado embasamento econômico que está presente nas bacias de: Pelotas, Santos, Campos e Espírito Santo (Cainelli e Mohriak, 1999).

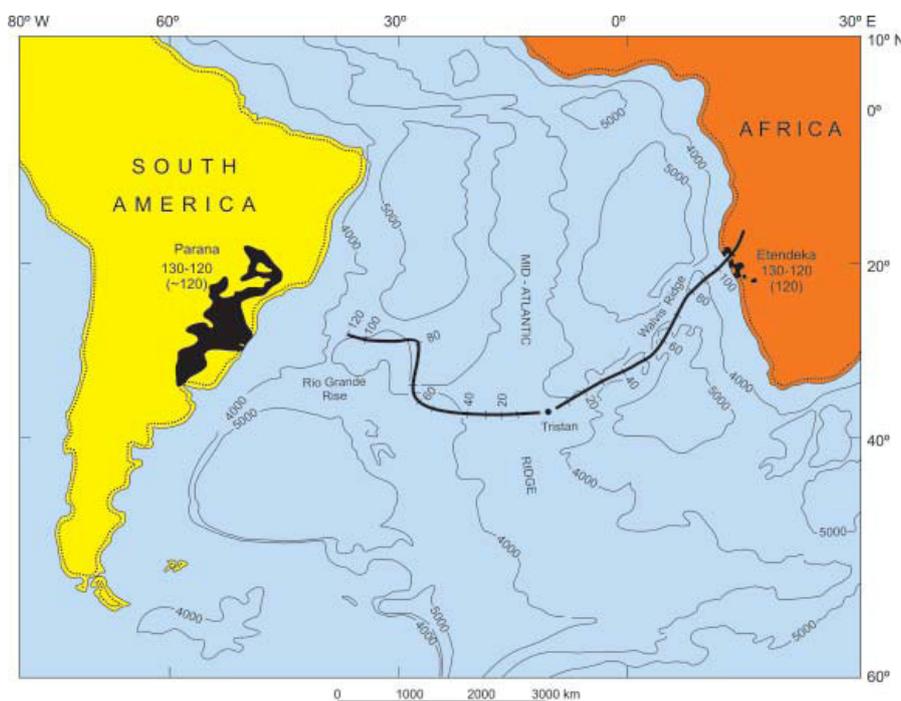


Fig.16: Áreas dos derrames vulcânicos do Pré-Rifte (White & McKenzie, 1989).

Fase Sinrifte

Fase inicial de abertura e separação entre os continentes, representada pela Formação Guaratiba, denominada por alguns autores como Megassequência Continental (Chang *et. al.* 1992), instalada após um período de magmatismo intenso, apresentando uma larga depressão denominada “depressão Afro-Brasileira” Chang *et. al.* (1992).

Inicialmente, foi instalado um sistema deposicional, mas ainda com presença de vulcanismo, caracterizado pela deposição de sedimentos terrígenos de idade Neojurássica próprios de depósitos fluviais, como arenitos e folhelhos escuros, e por materiais mais grossos associados a leques aluviais. Papaterra (2010) aponta que pequenas quantidades de evaporitos foram depositados localmente, em ambiente de “playa-lake”, e arenitos de origem eólica também são comuns nessa sequência.

Após a deposição inicial, ocorreu uma distensão crustal acelerada gerando uma série de meio-grábens ao longo de toda margem Leste no Neocomiano (Papaterra, 2010), formando lagos profundo e apresentando basicamente uma deposição flúvio lacustre e por clásticos vulcânicos derivados de vulcanismo ativo, porém decrescente, acumulados nos baixos estruturais. Como resultado dessa constante sedimentação os lagos tornaram-se progressivamente mais rasos.

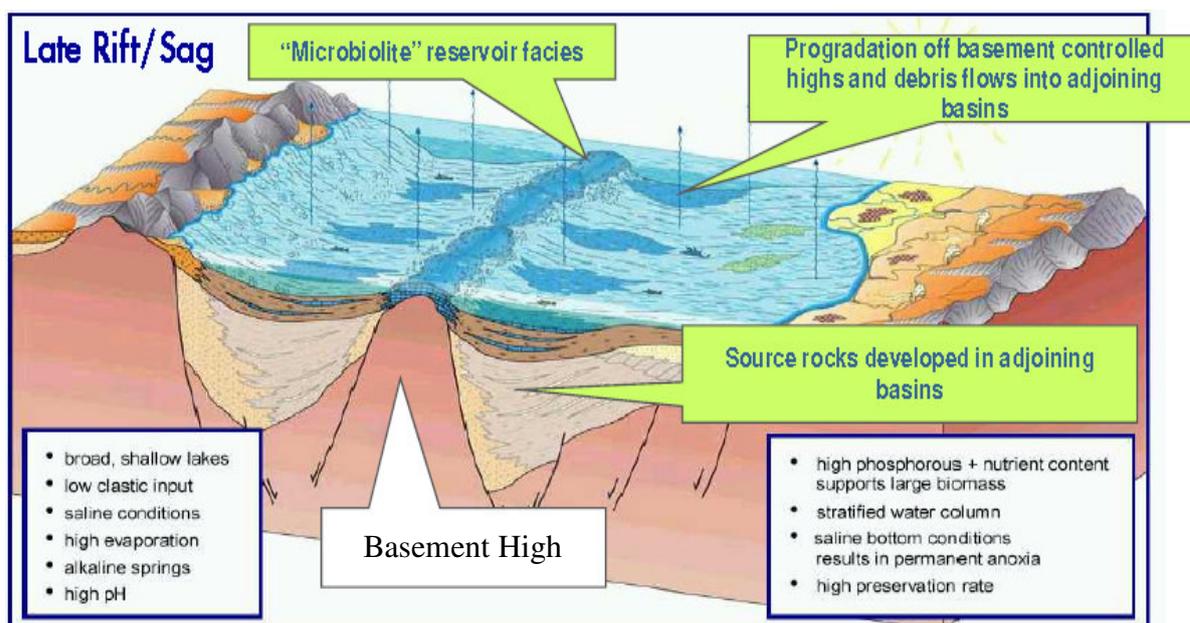


Fig.17: Deposição dos Sedimentos da fase Sinrifte (Modificada Gibbs *et. al.* 2003).

Sobreposto a esses sedimentos, foram depositados coquinas composta em sua grande maioria por bivalvos e ostracodes (Papaterra, 2010) formando “plays” petrolíferos bastante incomuns no registro geológico e de difícil entendimento, mas de grande produtividade quando encontrados na fase rifte ou sinrifte da margem leste brasileira e na margem oeste africana (Nogueira, 2003).

Por último, sedimentos carbonáticos, não marinhos, de idade Barremiana, compostos em sua maioria por microbiólitos e estromatólitos e associados a “build-up” acumulados em altos estruturais (Fig.17), formam a denominada seção “Sag”. Essas sequências são ricas em matéria orgânica, representativo dos períodos de nível de lago raso com aumento gradual da salinidade, atingindo níveis típicos da água do mar.

Nos últimos anos, com a evolução dos métodos geofísicos e com a perfuração de poços exploratórios profundos, a fase sinrifte vem sendo melhor compreendida e atualmente é alvo da indústria de petróleo, na qual já foram encontrados reservatórios de hidrocarbonetos de ótima qualidade e em grande quantidade denominados Reservatórios do Pré-Sal (Estrela, 2008).

Fase Transicional

Sobreposta à sequência da fase Sinrifte encontram-se os depósitos de idade Aptiana, depositados em ambiente marinho restrito há aproximadamente 115 Ma, marcada pela discordância angular “break-up” (discordância Pré-Alagoas) representado na Carta Estratigráfica da Bacia de Santos pelo Andar Alagoas.

Nesta fase ocorre o término do estiramento litosférico e rifteamento da crosta continental, cessando a atividade de grande parte das falhas envolvendo o embasamento. Inicialmente são mapeados sedimentos siliclásticos (carbonatos) com transição para um ambiente de alta salinidade formando uma espessa deposição de sedimentos evaporíticos, em sua grande maioria anidrita e halita que compõe a Formação Ariri.

A origem desses sedimentos salíferos, de acordo com Pereira *et. al.* (1986), está relacionada às primeiras incursões marinhas ao longo do rifte costeiro. Anteriormente, Leyden *et. al.* (1976) descreveu que as grandes concentrações de elementos químicos presentes nesta imensa bacia evaporítica, foram favorecidos por fontes de águas alcalinas oriundas de emanções vulcânicas.

Ainda de acordo com Leyden *et. al.* (1976) o Alto de Florianópolis (Fig.18) serviu como barreira topográfica para incursões marinhas vindas do sul levando assim à geração de um ambiente de golfo com altas concentrações de sal (Fig.19).

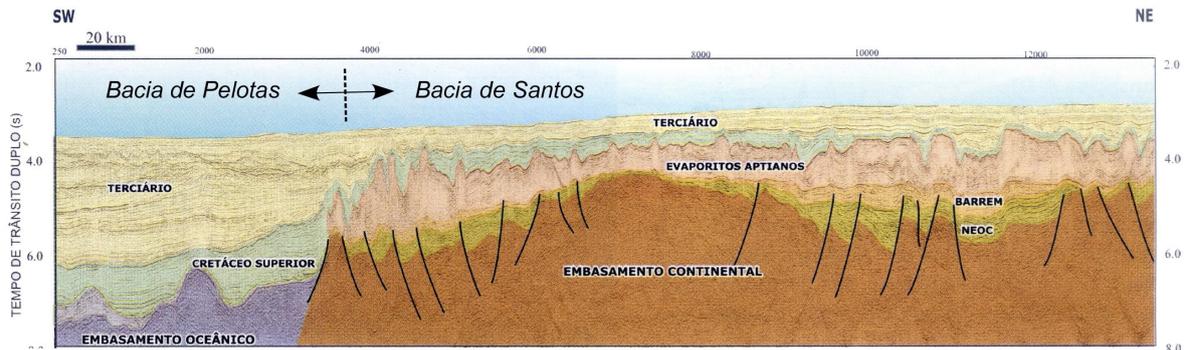


Fig.18: Contato entre crosta continental e oceânica ao longo da Zona de Fratura de Florianópolis e a sequência Evaporítica restrita à bacia de Santos (Mohriak, 2008).

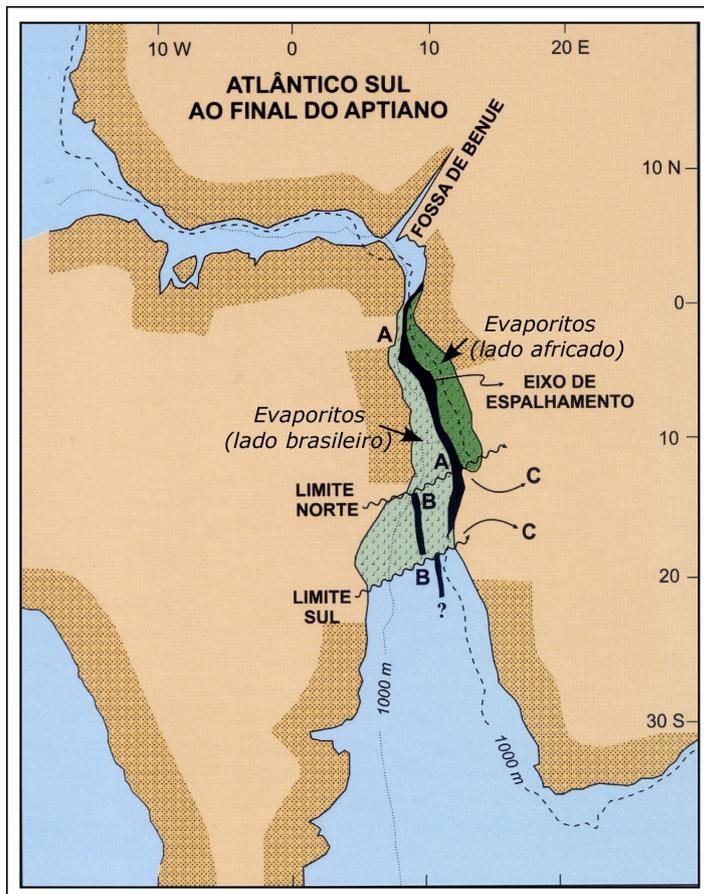


Fig.19: Reconstrução do Atlântico Sul durante o Aptiano. A linha B-B' representa a posição de um eixo de espalhamento hipotético entre as placas africana e sul americana. A linha A-A' representa a posição final do eixo de espalhamento, após sua migração para leste (Gamboa *et. al.*, 2008).

Esta grande camada de Sal, que hoje é um desafio para as geociências, sofreu grande deformação ao longo do tempo, através da Halocinese (Tectônica do Sal), gerando por consequência os denominados “Domos de Sal”, muralhas, díapiros, etc. Essas estruturas constituem uma camada muito irregular, na qual a velocidade de propagação da onda sísmica é sensivelmente mais alta do que nos sedimentos vizinhos, atuando como uma lente que distorce a imagem sísmica, dificultando a interpretação dos eventos que estão abaixo dela. Estas formações desempenharam um importante papel no controle de geração, maturação e formação de trapas para hidrocarbonetos.

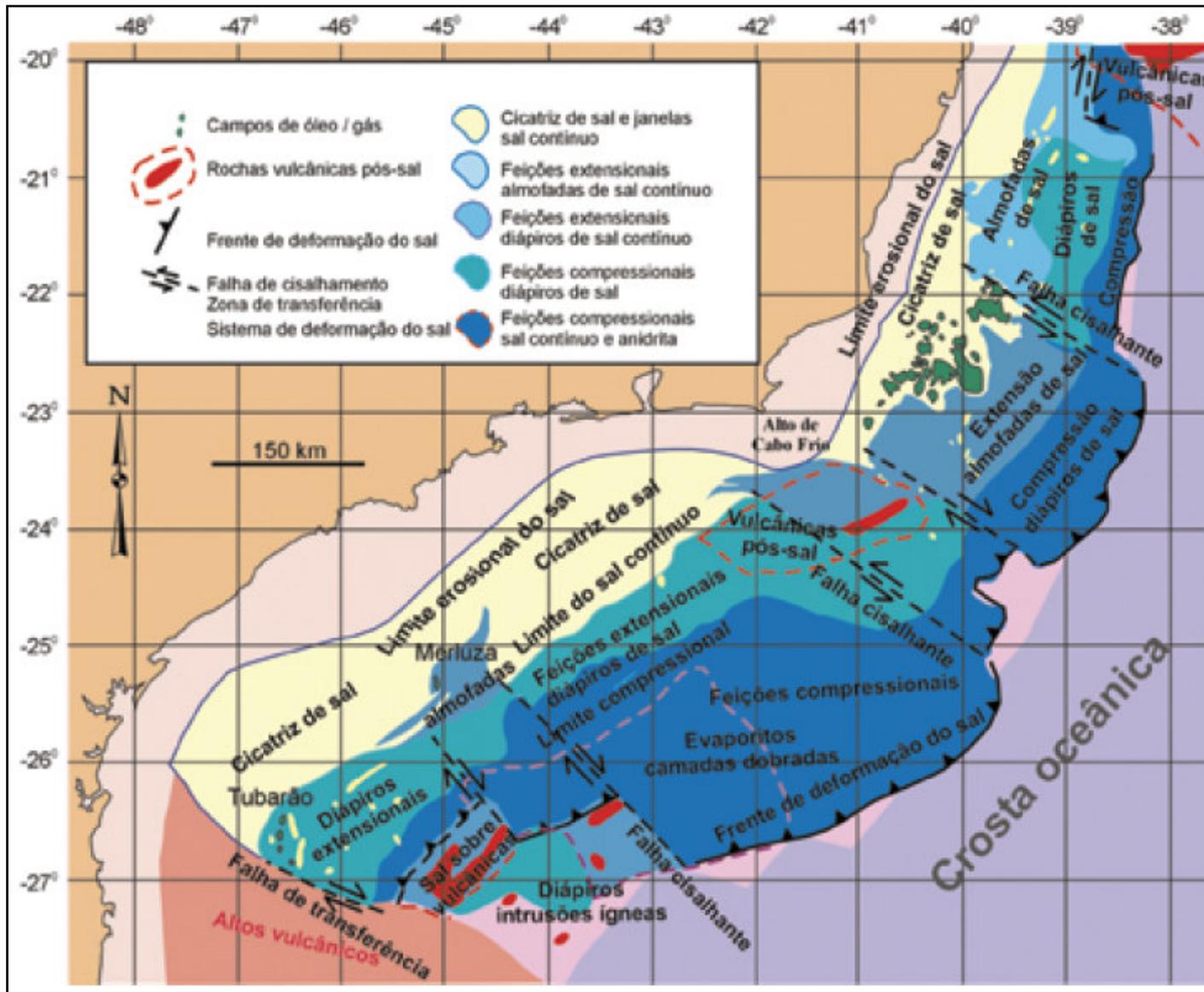


Fig.20: Limites Evaporíticos Aptianos nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo (Chang *et. al.* 1992).

Chang *et. al.*(1992) apresenta os limites evaporíticos sobre a linha de chaneira Aptiana de Santos, possuindo amplitude de 300 km sobre o Platô de São Paulo (Fig.20) sendo sobrejacente em sua grande maioria a crosta continental segmentada pelo rifte. O limite offshore coincide aproximadamente com o possível limite entre as crostas oceânica e continental próximo a dorsal de São Paulo e o limite sul na região do Alto de Florianópolis (Fig.21).

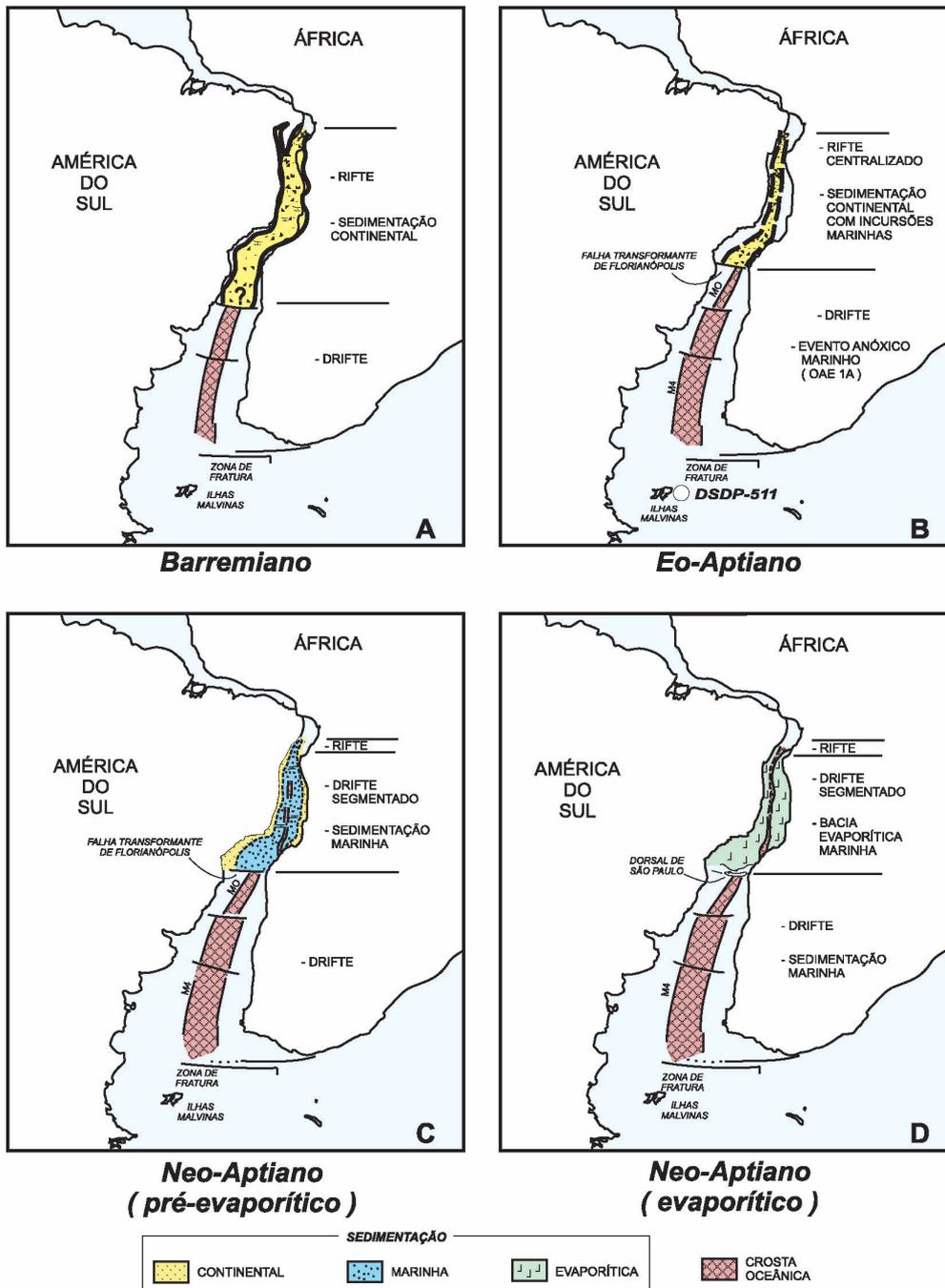


Fig.21: Reconstruções paleogeográfica do Barremiano ao Neo-Aptiano, mostrando as principais fases tectônicas e a abrangência da sedimentação marinha no Oceano Atlântico Sul (Dias, 2005).

Fase Pós-Rifte

Com o final da fase transicional ocorreu a separação efetiva dos continentes Americano e Africano, com o aparecimento da Cadeia Meso-Atlântica e a abertura definitiva do ambiente restrito para o mar (Fig.22C), tendo como consequência direta a geração de Crosta Oceânica.

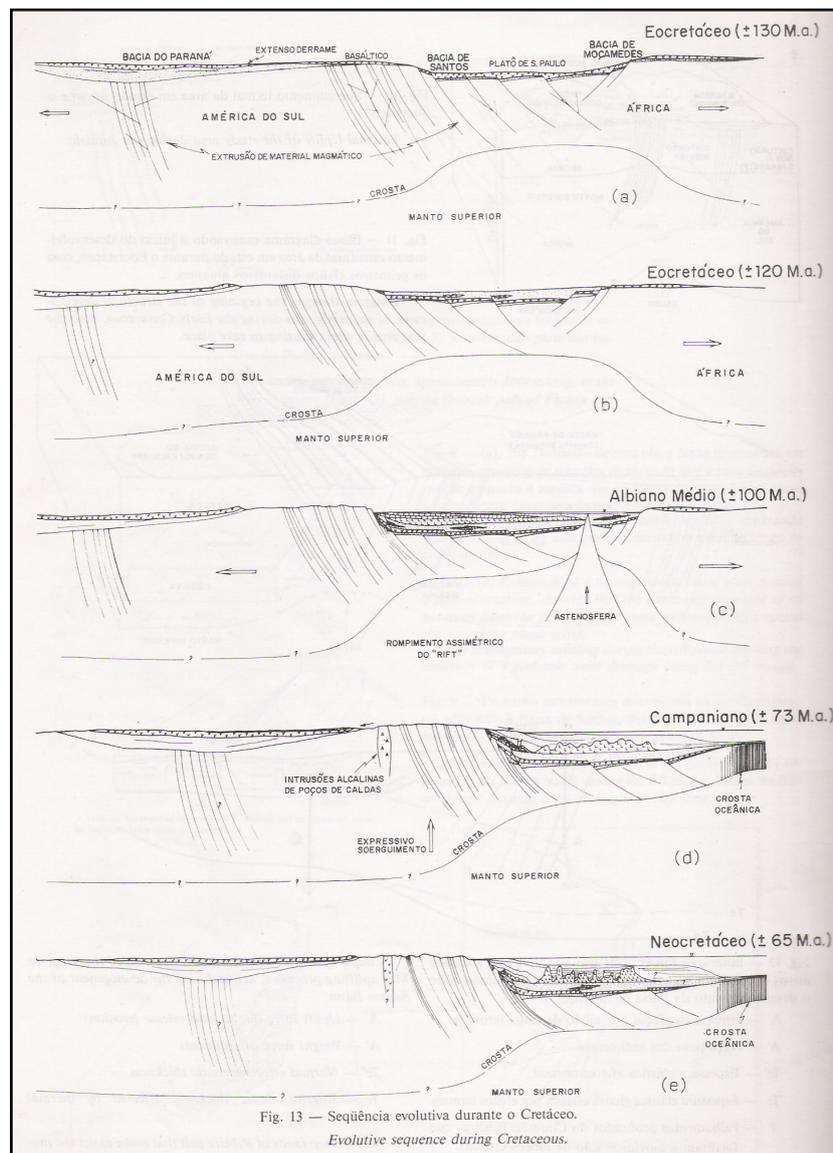


Fig.22: Sequência evolutiva da Bacia de Santos durante o Cretáceo (Gabaglia, 1990).

O rompimento da crosta continental na Bacia de Santos se deu de maneira assimétrica em relação ao novo oceano Pereira *et. al.* (1986). Este fato deve-se pela crosta não ter se rompido na região mediana entre a América do Sul e a África, e sim próxima à costa africana, que como consequência fez com que a maioria dos depósitos evaporíticos ficassem anexados ao continente sul-americano naquela latitude (Fig.23).

A melhor forma de evidenciar o rompimento assimétrico é através do Platô de São Paulo, que é resultado direto e comporta enormes volumes de sal (Fig.23). Gamboa *et. al.* (2008), explica que essa grande quantidade de sal retida se deve ao deslocamento para leste do centro de espalhamento oceânico após a deposição do sal.

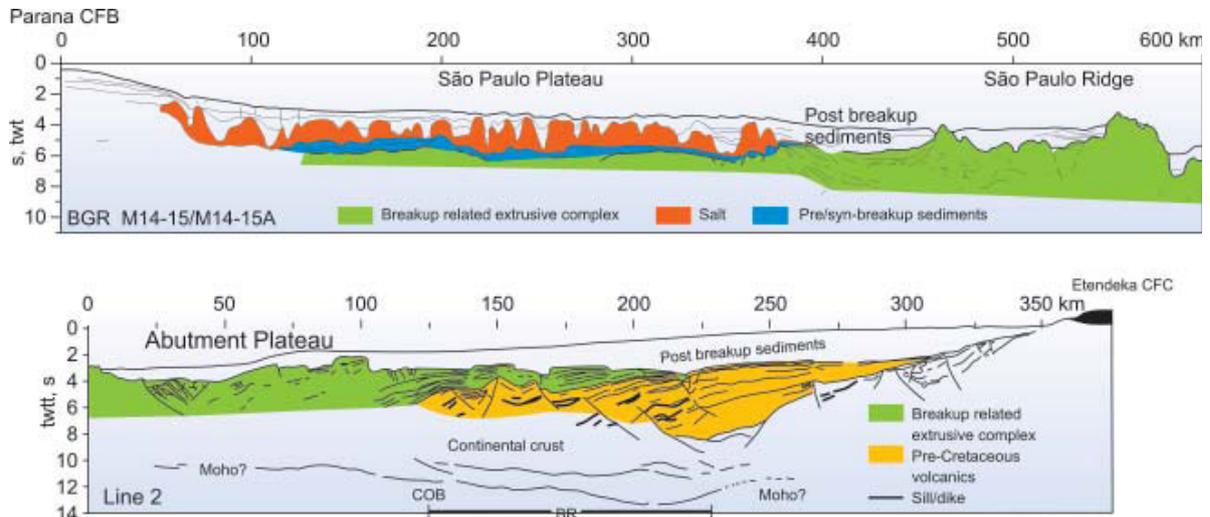


Fig. 23: Seções sísmicas profundas ao longo da Bacia de Santos (acima) e offshore Namíbia (abaixo), mostrando a distribuição dos sedimentos pós-rifte e as vulcânicas relacionadas à abertura continental (Gladzenko *et. al.* 1997).

Como consequência direta, temos o início da geração efetiva de Crosta Oceânica e o desenvolvimento de uma ampla plataforma continental carbonática durante o Albiano (aproximadamente 113 Ma) em situações de águas rasas e calcilitos em águas profundas (Papaterra, 2010).

Nesta fase também ocorreu uma fase de subsidência termal na bacia, o que fez causar um basculamento generalizado. Segundo Pereira *et. al.* (1986), durante o período de deposição dos carbonatos, foram iniciados os processos de escorregamentos gravitacionais sobre o sal, dando início à Halocinese na bacia.

Com o decorrer do tempo, novas seqüências sedimentares foram se sobrepondo, onde devemos destacar:

Neoalbino e Turoniano: Duas seqüências transgressivas preencheram a bacia, afogando a plataforma continental Carbonática (Fig.22d /24).

Neocretáceo: Nesse momento ocorreram três grandes episódios prográdantes que preencheram a bacia, levando a linha de costa a um significativo recuo (Fig.22d). Este período é correlacionado a intrusões de rochas alcalinas na área (Almeida, 1983). Com tendência de subida relativa do nível do mar ao longo das bacias costeiras brasileiras no Meso e Neocretáceo, a Bacia de Santos compensou esta tendência através do soergimento da área fonte e do grande aporte sedimentar. Sendo assim, o ambiente deposicional se manteve continental e de mar raso (Fig.22d).

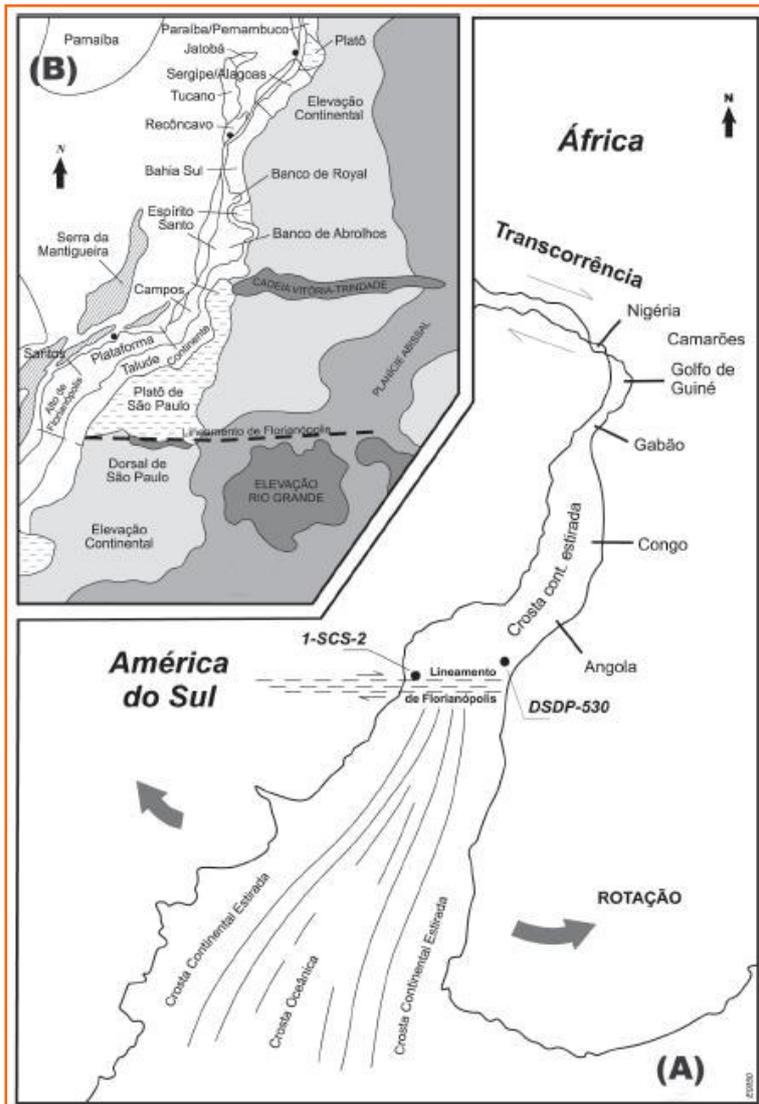


Fig. 24: Posição paleogeográfica dos continentes africano e sul-americano e do Atlântico Sul primitivo no Albiano (A), a partir do modelo geodinâmico tradicional, com rotação no sul e transcorrência no norte. Em B, são apresentadas as principais feições fisiográficas da margem continental brasileira e bacias marinhas adjacentes (Azevedo, 2004).

Cretáceo Superior: É marcada por ampla discordância regional que está ligada a superfície de erosão do Japi na área continental, que de acordo com Almeida (1976), foi responsável pelo nivelamento de várias intrusões vulcânicas alcalinas na área continentais adjacentes a bacia no Neocretáceo (Fig.22e).

Terciário: De acordo com Pereira *et. al.* (1986), os depósitos são marcados por duas seqüências progradacionais. No entanto, elas são constituídas de sedimentos bem mais finos do que as do Cretáceo Superior, pois os sedimentos mais grosseiros teriam sido capturados pela drenagem do Rio Paraíba do Sul, que hoje deságua na Bacia de Campos. Razão a qual o Terciário na Bacia de Campos é mais expressivo do que na Bacia de Santos. Existem evidências que a parte norte da Bacia de Santos e na Bacia de Campos houve vulcanismo básico nesta época, podendo ser relacionados aos pulsos distensivos na região (Pereira *et. al.* 1986).

Terciário-Quaternário: Nesta fase de transição ocorreram novas movimentações de blocos no Cinturão Ribeira, que de acordo com Bacocoli e Aranha (1984) *Apud* (Pereira *et. al.* 1986), deformaram sedimentos nas bacias continentais nele encaixadas (Resende e Taubaté). Esta sísmicidade é bastante ativa até hoje nas áreas adjacentes a Bacia de Santos, mostrando assim uma movimentação tectônica ainda atuante.

Idade	Tipo de Sedimento
Eo/Mesoalbiano	Siliciclásticos (Formação Florianópolis) Carbonáticos (Formação Guarujá)
Neoalbiano - Eo/Cenomaniano	Clástico / Carbonáticos (Formação Itanhaém)
Meso/Turoniano	Ambiente Marinho Transgressivo (Formação Itajaí-Açu)
Maastrichtiano	Ambiente Marinho Regressivo (Formação Santos e Juréia)
Terciário	Plataformas Carbonáticas no centro-sul / Clásticos Grosseiros na norte. (Sistema Iguape/Marambaia)
Pleistocênica	Areias / Folhelhos (Formação Sepetiba)

Tabela 3: Tipos de Sedimentos na Bacia de Santo na Fase Pós-Rifte

Em resumo, estas seqüências da fase pós-rifte constituem o denominado pós-sal, onde depósitos típicos de ambiente de mar aberto e de origem continental são encontrados ao longo da bacia (Tabela 3). A seguir a seção geológica (Fig.25) esquematiza as três megasseqüências, com suas correspondentes deposições sedimentares e o embasamento da Bacia de Santos.

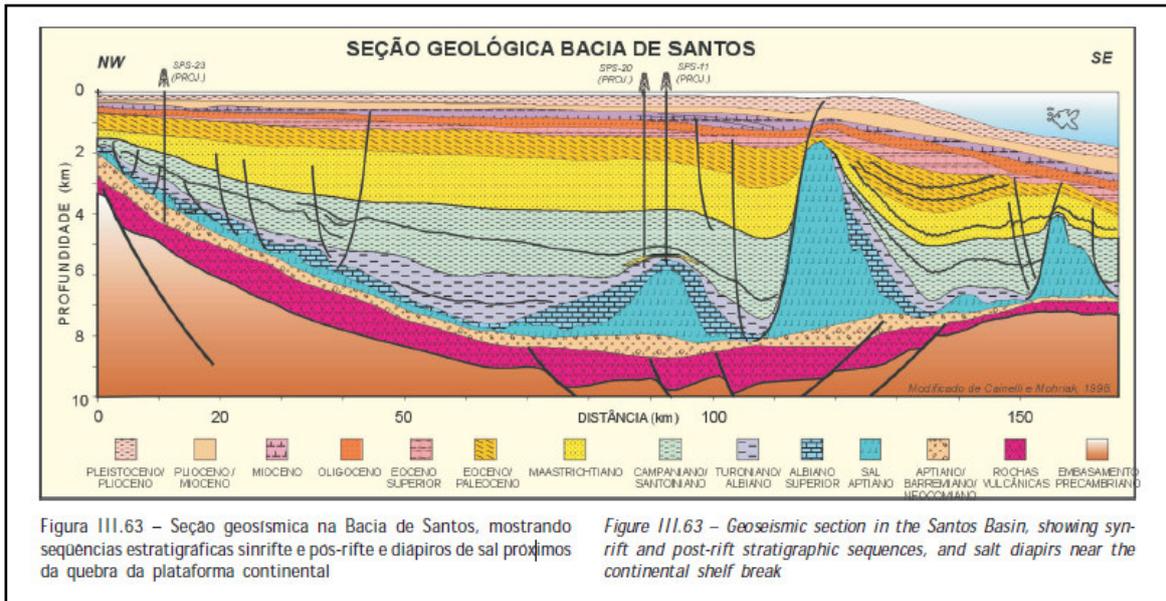


Fig.25: Seções Sísmicas na Bacia de Santos (Fonte: CPRM)

É válido comentar que os tipos de tectonismo e sedimentação são bem similares nesse grupo de bacias (margem passiva), porém as mesmas foram sujeitas a irregularidade devido aos efeitos de heterogeneidades e descontinuidades, além de anomalias térmicas crustais que impuseram fortes alterações na evolução de cada (Fig.26/28).

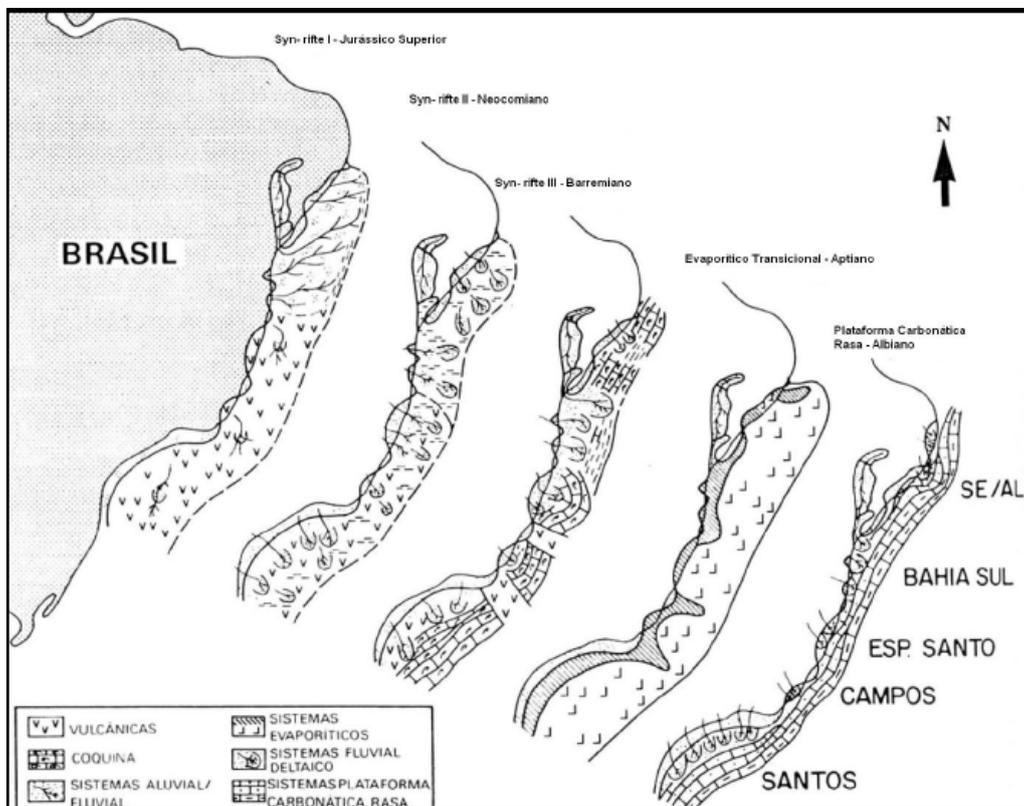


Fig.26: Reconstrução paleogeográfica das seqüências Sinrife e Megasseqüências Pós-Rifte, Evaporítica Transicional e Plataforma carbonática rasa (Chang et. al. 1992).

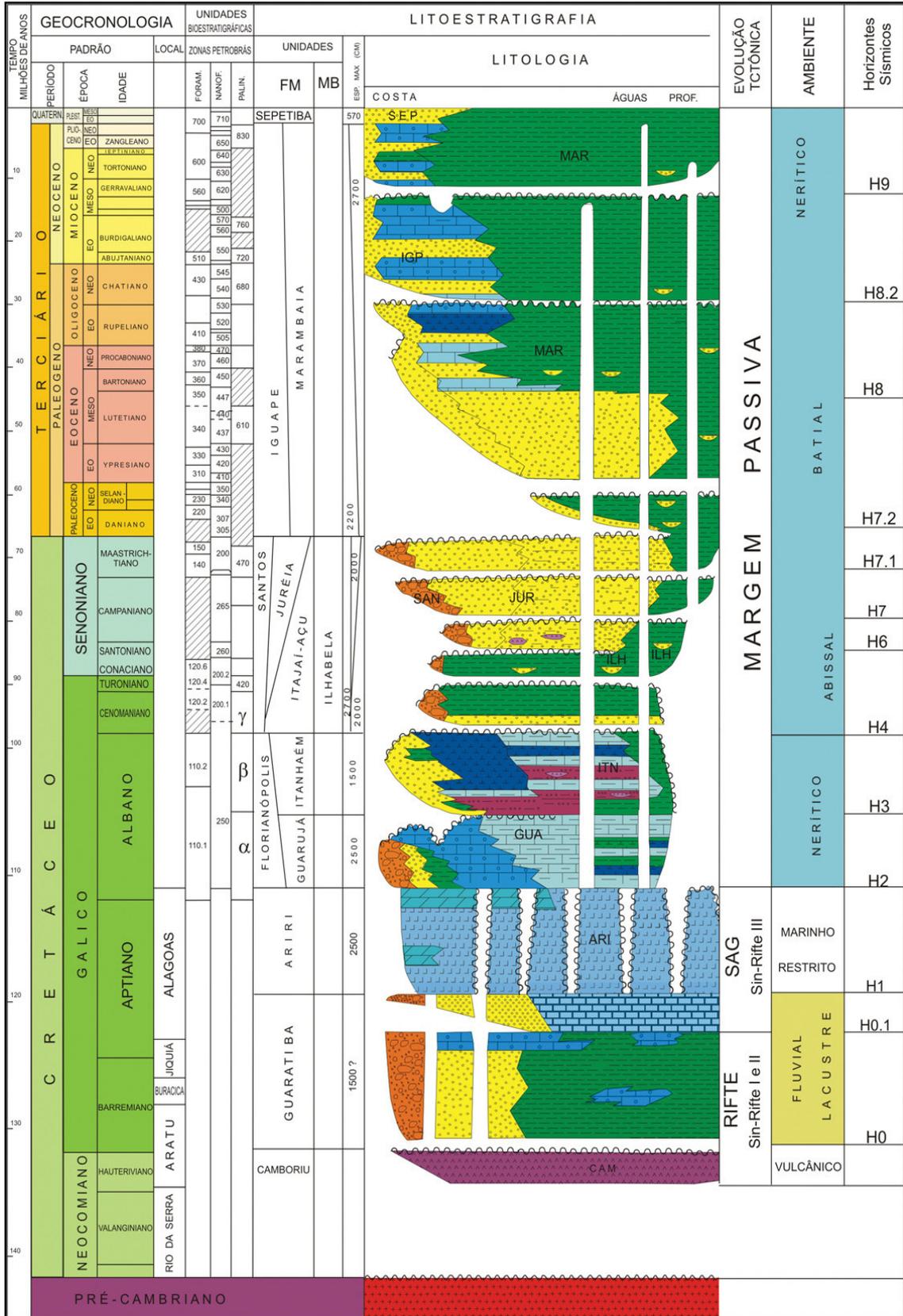


Fig.27: Carta Estratigráfica da Bacia de Santos (Pereira & Feijó, 1994).

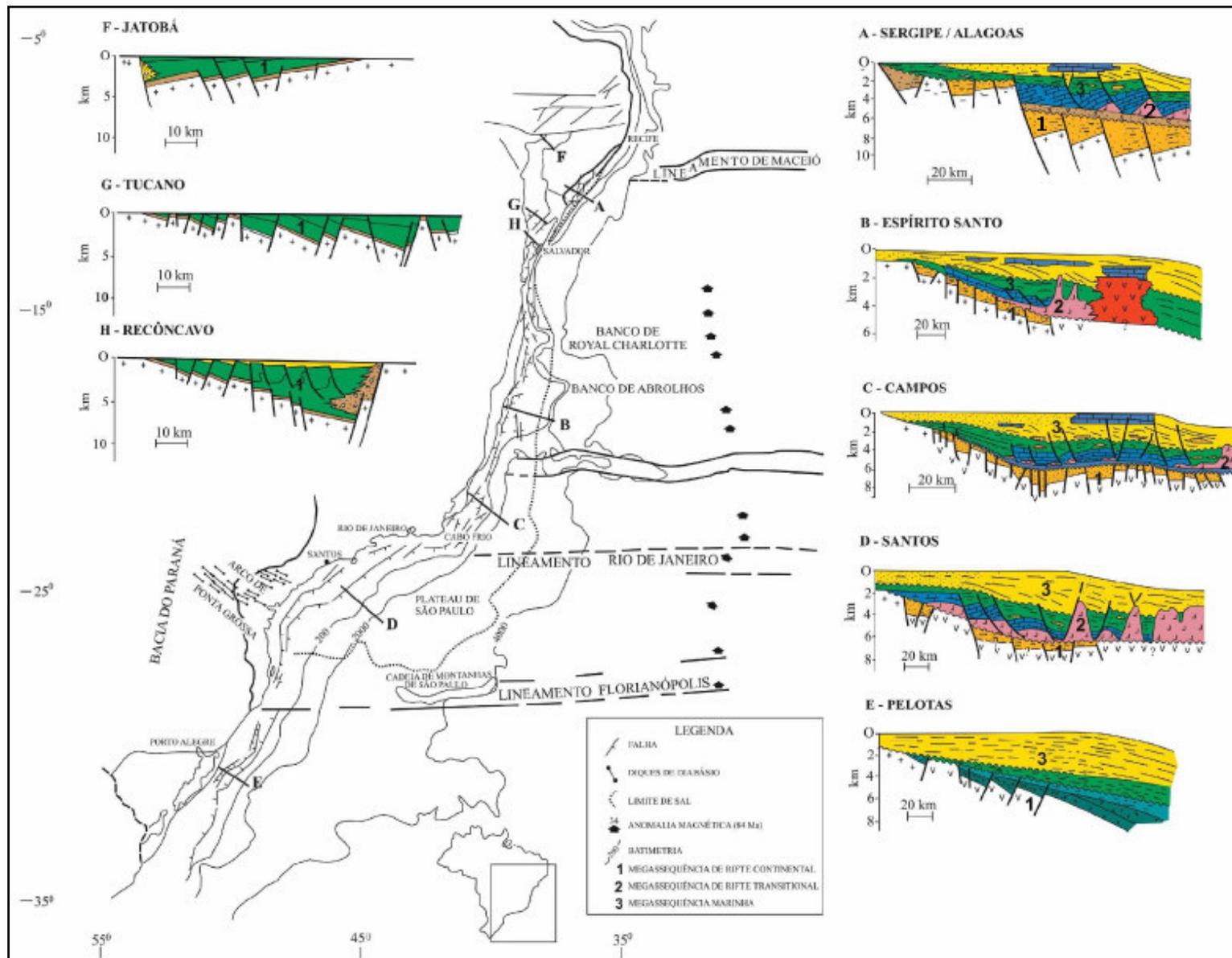


Fig. 28: Seção Geológica das Bacias Mezo-Cenozoica, ao longo da Margem Leste Brasileira (Chang *et. al.* 1992).

6. Dados Seleccionados

De acordo com a resolução da ANP, os projetos de graduação têm um número limitado de dados que podem ser pedidos e disponibilizados pelo BDEP (tabela 4), para tal, os dados seleccionados foram filtrados após todo o processo de revisão sobre a escolha dos métodos geofísicos aplicados para estudos crustais e sobre a evolução da Bacia de Santos, anteriormente descritos, para que a escolha dos dados e da área que será estudada seja com o maior ganho de informação possível.

Graduação ou Projeto de Pesquisa	
Tipo de Dado	Volume
DADOS DE POÇOS	QUANTIDADE
Suíte de perfis com 04 curvas no formato LAS	6 poços
Tabela de tempo x profundidade obtida de sísmica de poços (WST, CST, etc.)	6 poços
Descrição de amostras de calha	6 poços
Descrição de testemunhos (no máximo 3 testemunhos por poço)	6 poços
Descrição de lâminas petrográficas (no máximo 3 descrições por poço)	6 poços
Resultado de análise de amostras de fluidos (no máximo 3 análises por poço)	6 poços
Resultado de análises geoquímicas (TOC, Resíduo, S1, S2, S3, TMax, HI, OI)	por bacia
Análise de amostras de testemunhos (porosidade e permeabilidade)	12 análises
Dados de testes de formação (pressões, fluido, permeabilidade)	6 testes
Cronoestratigrafia	6 poços
DADOS GEOFÍSICOS	QUANTIDADE
Linhas sísmicas 2D (número de linhas)	10 linhas
Sísmica 3D pré e pós empilhada (km ²)	50 km ²
Magnetometria e/ou Gravimetria (projetos pré-resolução 23-14/07/2009)	por projeto
Magnetometria e/ou Gravimetria (projetos pós-resolução 23-14/07/2009)	10.000 km linear
Mapa cultural (unidade)	6

Tabela 4: Tipo e Volume Máximo de Dados Elegíveis para Projetos de Graduação

As definições das escolhas a seguir:

Dados Sísmicos: Composto inicialmente de pelo menos duas grandes linhas “Dip” que atravessam a Bacia de Santos, desde o domínio de águas rasas, até as águas ultra profundas, apresentando Offsets médios a longo. Após a escolha destas linhas, outras linhas paralelas e perpendiculares (strike) foram focadas, para que após interpretação destas linhas iniciais possa ser feita uma extrapolação lateral da interpretação.

Dados de Poços: Teriam que estar localizados sobre ou próximos às linhas sísmicas principais. Estes por sua vez, teriam que apresentar profundidades significativas e que no mínimo atravessassem a fase pós-rifte e posteriormente atingissem o pré-sal. Além disso, é de suma importância saber o conjunto de métodos de perfilagem que foram utilizados em cada poço, já que os mesmos iram trazer importantes informações para a interpretação sísmica e modelagem gravimétrica.

Dados Gravimétricos: Igualmente aos dados de poço, os dados gravimétricos teriam que estar localizados sobre a região das linhas sísmicas selecionadas, tendo que apresentar um caráter regional, sendo a influência da seção sedimentar percebida, mas que não mascarasse totalmente as estruturas subjacentes. Para tal, inicialmente, serão realizados estudos com dados provenientes de satélites para geração de mapas e perfis regionais, mas, contudo, levantamentos realizados por navios, também serão utilizados, pois apresentam uma melhor resolução local e ideal para a modelagem.

Então baseando em todos esses os pontos, referidos anteriormente, segue abaixo a lista dos dados selecionados e o mapa gerado com dos mesmos (Fig.29).

Dados Sísmicos:

- . Linhas Principais: 0239-0366 / 0222-0098
- . Linhas Secundárias: 0034-0024 / 0222-0125 / 0239-0367 / 0247-0100 / 0248-0011 / 0248-0108 / 0248-0114 / 0248-0116

Dados de Poços:

- . 1-RJS-033-RJS (TD = 3355m) / 1-RJS-583-RJS (TD = 3466m) / 1-RJS-587-RJS (TD = 6024m) / 1-RJS-598D-RJS (TD = 4786m) / 1-RJS-628-RJS RJS (TD = 6000m) / 4-RJS-633-RJS (TD = 5835m)

Dados Gravimétricos:

- . Dados do Satélite / santos17regionalsulp0107

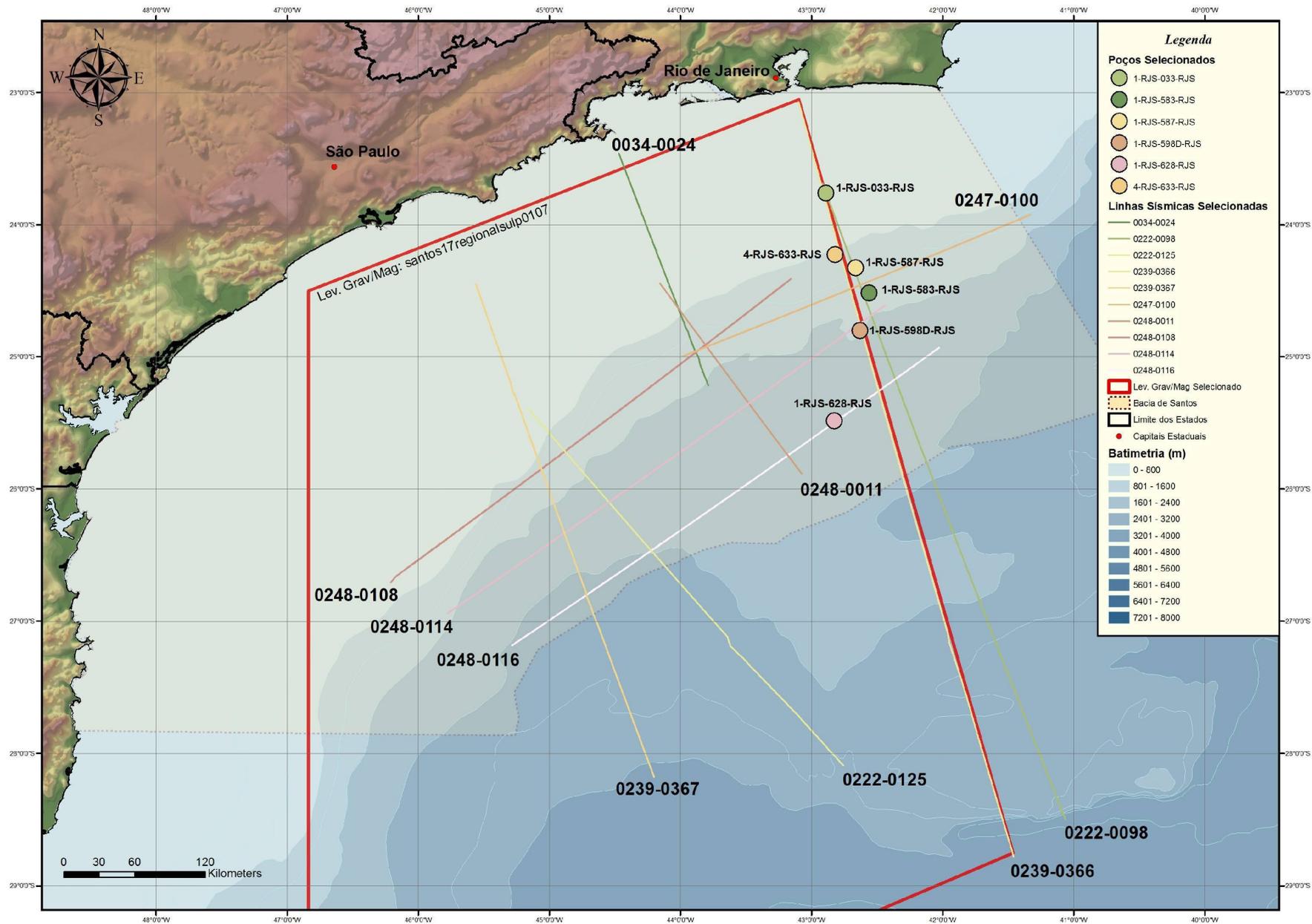


Fig.29: Mapa com a localização de todos os dados seleccionados para o projeto

7. Resultados

Seguindo a metodologia proposta, esse tópico irá focar o tratamento e a análise dos dados, explicando os processos de tratamentos de dados aplicados ao conjunto de dados selecionados e conseqüentemente a interpretação realizada sobre os mesmos.

7.1 - Interpretações dos dados sísmicos

Essa etapa tem como objetivo a interpretação sismoestratigráfica das Fases Transicional e Pós-Rifte, através do mapeamento do fundo Marinho, Topo do Sal, Base do Sal e Topo Embasamento quando possível; limitando assim os limites sedimentares relacionados a estas.

Para tal, foi realizada a interpretação sísmica nas duas principais linhas sísmicas do projeto 0239-0366 / 0222-0098 (Fig.29), em conjunto com os perfis de poços.

As análises e interpretações sísmicas foram baseadas utilizando os conceitos teóricos da sismoestratigrafia encontradas em importantes bibliografias, além da utilização de informações bibliográficas diretamente ligadas a Bacia de Santos.

A utilização dos dados de poços exploratórios presentes (Fig.29), sobre ambas as linhas sísmicas referenciadas anteriormente, é de suma importância dentro do projeto para que possam ser feitas comparações quanto aos topos e limites das principais seqüências sísmicas e inferências sobre as idades e características geofísicas das mesmas (Velocidade de Propagação das ondas sísmicas / Densidade / porosidade / saturação e etc.).

A seguir as linhas sísmicas 0239-0366 e 0222-0098 (Fig.29) originais processadas em tempo (Fig. 30/31) e interpretadas em tempo (Fig. 32/33), no qual pontos relevantes devem ser discutidos sobre as informações contidas e interpretadas.

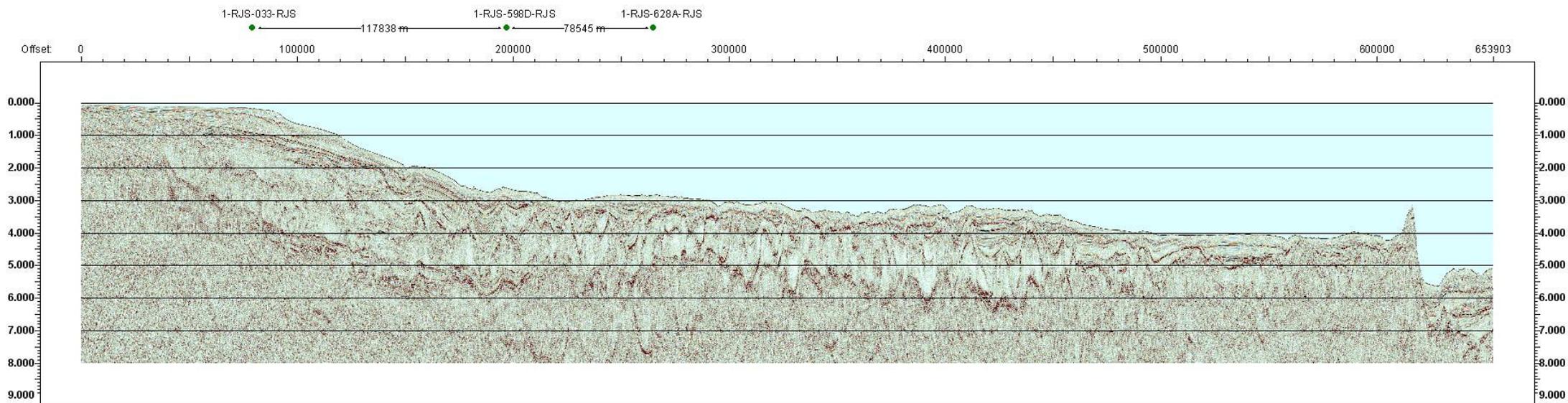


Fig. 30: Linha Sísmica 0239-0366 em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios

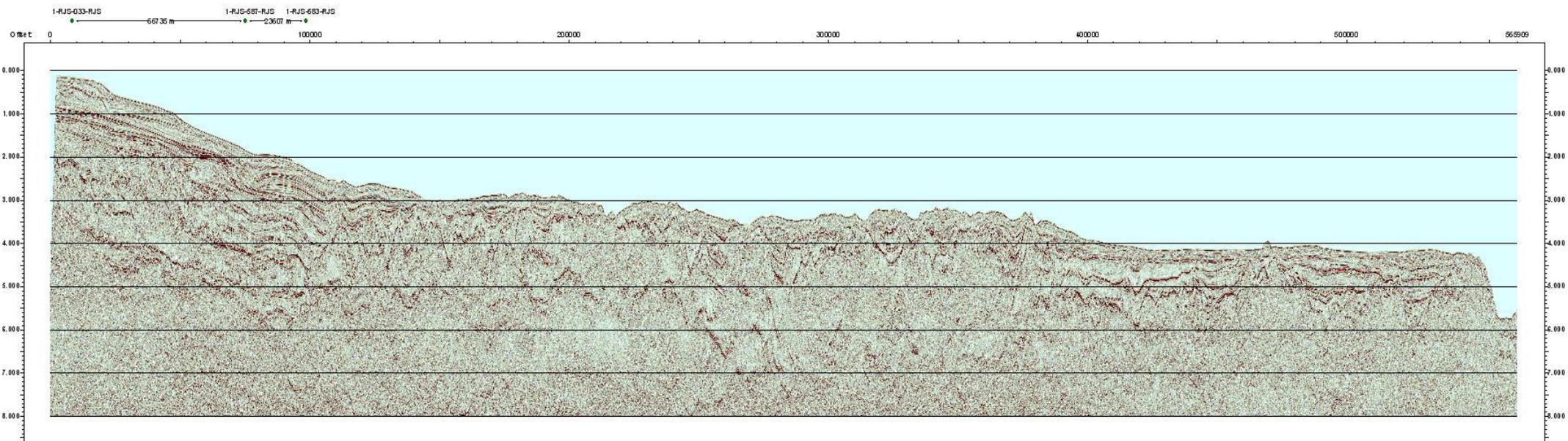


Fig.31: Linha Sísmica 0222-0098 em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios

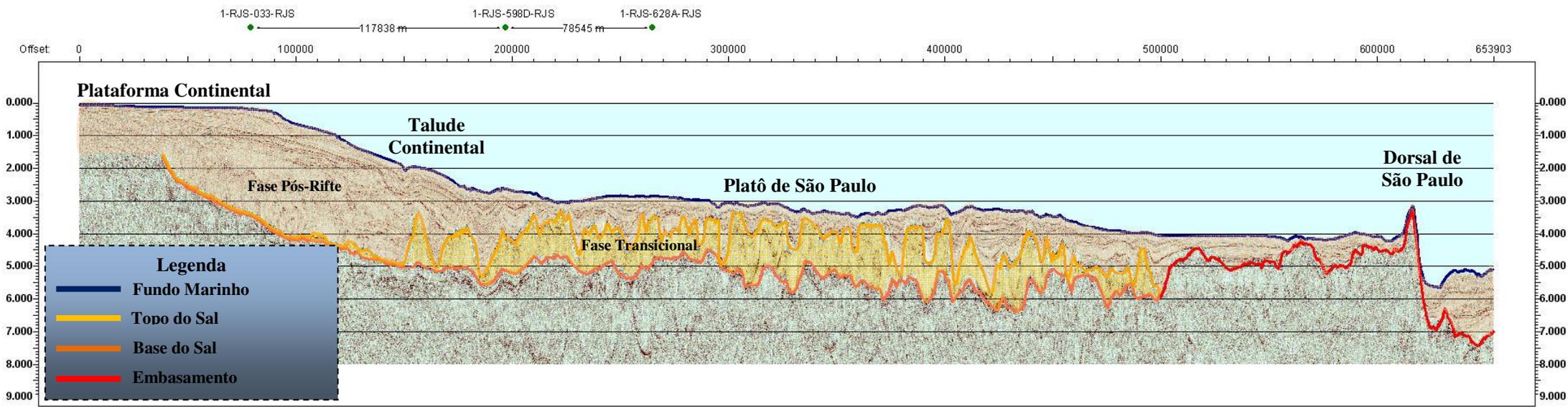


Fig.32: Linha Sísmica 0239-0366 Interpretada em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios

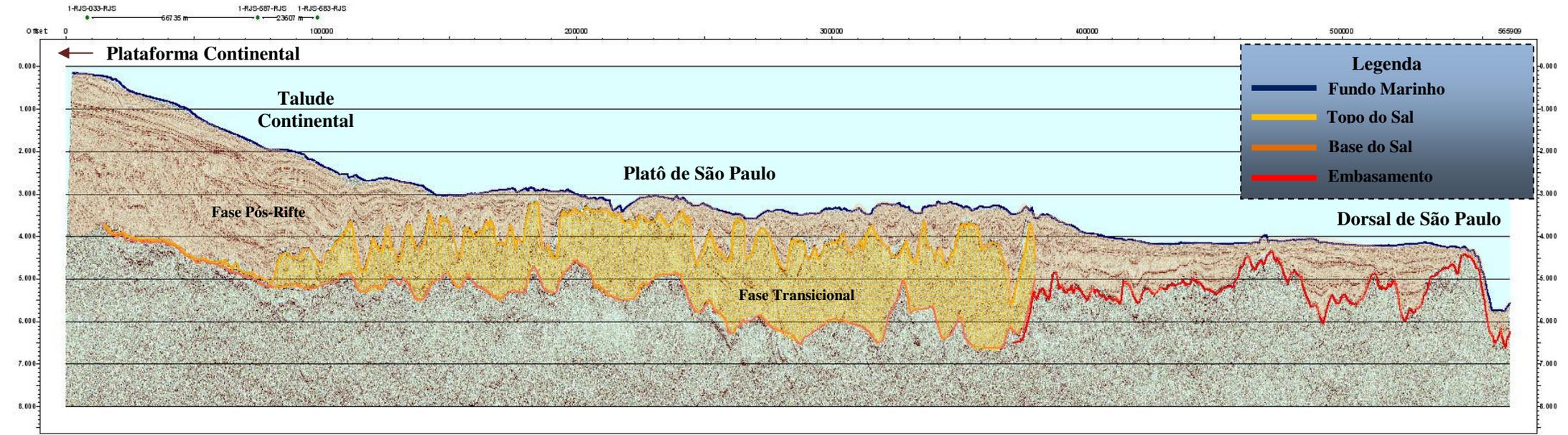


Fig.33: Linha Sísmica 0222-0098 Interpretada em Tempo Duplo (Máximo 8 segundos) com a Localização dos Poços Exploratórios

O primeiro ponto é a geomorfologia do fundo oceânico, que como descrito em outros tópicos apresenta particularidades em relação às demais bacias sedimentares marginais, como o Platô de São Paulo e a Dorsal de São Paulo (Fig.32/33).

Em resumo é possível observar a passagem de um relevo de suave gradiente batimétrico negativo na região da plataforma continental, para um aumento do gradiente na região do talude continental e posteriormente um gradiente mais suave na região do Platô de São Paulo até a Dorsal de São Paulo, porém com um relevo mais acidentado devido às movimentações halocinéticas. Na Dorsal de São Paulo ocorre um novo aumento do gradiente, só que desta vez positivo e negativo, respectivamente, podendo atingir até 2000 m de desnível morfológico na sua fachada sul (bacia de Pelotas), e até cerca de 500 m para norte (Platô de São Paulo) (Kumar e Gamboa, 1979).

O segundo ponto é visualização dos diferentes domínios estratigráficos, em sua maioria na fase pós-rifte devido ao maior número de mudanças deposicionais e pela melhor resolução de imageamento sísmico. Esse último fator, que ao longo do trabalho foi apontado como razão para a escolha da integração, fica evidente ao observar-se as linhas sísmicas. Para fins do projeto foram focados somente os limites sedimentares relacionados às diferentes fases tectônicas.

As mudanças das características físicas entre as fases anteriormente colocadas facilitaram a interpretação das mesmas, já que tais mudanças proporcionam alterações na velocidade de propagação da onda sísmica e conseqüentemente na geração de zonas refletoras com maiores amplitudes.

A fase Pós-Rifte apresenta seu limite superior marcado pelo fundo marinho e seus limites inferiores marcados pelo topo do sal e pelo topo do embasamento, em domínios de mar profundo. Em termos sedimentar, como descrito no tópico sobre a geologia regional, essa fase é dominada por diferentes sistemas deposicionais em ambiente marinho aberto.

A amarração da interpretação sísmica com dados de poços foi realizada, porém a mesma é limitada pela localização dos poços, sendo localizados na parte inicial do Platô de São Paulo. Além disso, poucas campanhas de perfuração foram realizadas nas partes distais da bacia.

A fase Transicional ou Evaporítica apresenta seu limite superior (ou Topo do Sal) limitado pelos sedimentos do Pós-Rifte (Pós-Sal) e seu limite inferior (ou Base do Sal) limitado pelos sedimentos do Sinrifte (Pré-Sal). Novamente, os contrastes entre as características físicas nas zonas de contato irão propiciar uma melhor interpretação dos horizontes Topo e Base, porém quando se procura uma maior exatidão na interpretação, poderá ocorrer uma maior dificuldade devido ao retrabalhamento dos sedimentos por causa das movimentações Halocinéticas.

Por último, foi realizada a interpretação do embasamento em domínios de águas profundas, sendo o mesmo coberto por sedimentos predominantemente pelágicos. Somente pela interpretação sísmica é difícil concluir se o embasamento mapeado nessa região é de natureza totalmente oceânica, parcialmente oceânica e transicional ou totalmente transicional. Chang *et. al.* (1992) coloca o limite crustal ao término dos sedimentos evaporíticos no Platô de São Paulo, já outros autores defendem o limite sobre a dorsal de São Paulo.

7.2 – Estimativas das Velocidades Sísmicas (Tempo – Profundidade)

Para a estimativa das velocidades das ondas compressãois (ondas P) em m/s nas camadas sedimentares da linha sísmica 0239-0366, foram utilizados os perfis DT encontrados nos dados de poços. Porém, as unidades são diferentes, sendo utilizada a fórmula (1) retirada de Da Silva (2010) para conversão,

$$V_P = \frac{304800}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde Δt é o valor de tempo de trânsito na rocha registrado no perfil DT em segundos e a constante no numerador vem da conversão da unidade pés para metros.

A estimativa de velocidade possibilitou a migração somente dos horizontes mapeados de tempo para profundidade através da fórmula (2), para que os mesmos fossem inseridos no programa de modelagem gravimétrica:

$$\text{Profundidade (m)} = \frac{V_P \times T}{2} \quad (2)$$

Onde T é o tempo duplo de transito da onda compressional desde a superfície do mar até o horizonte mapeado.

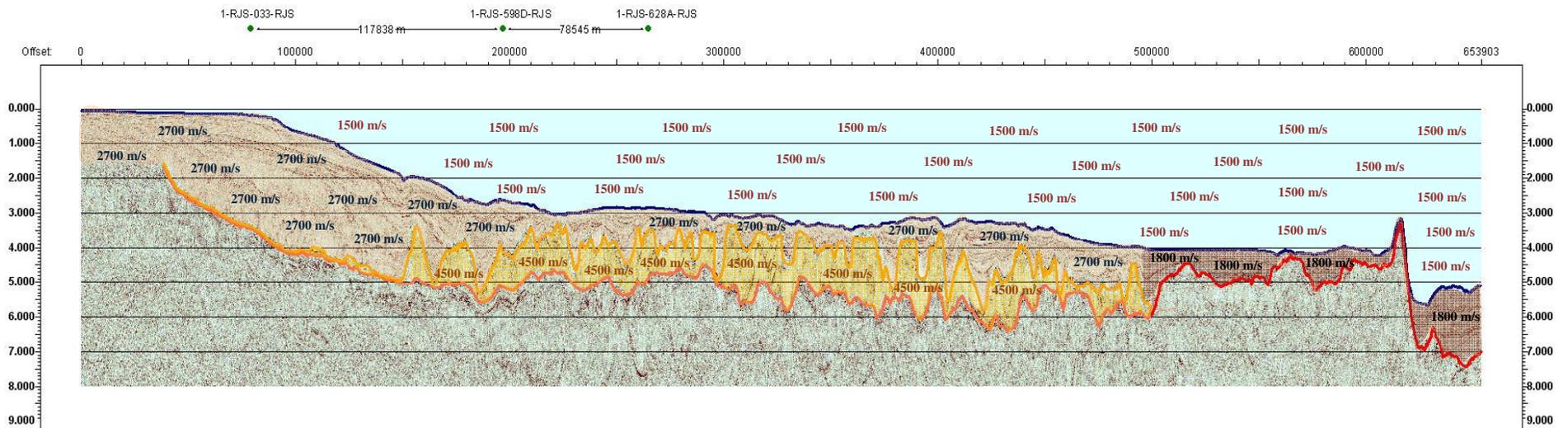


Fig.34: Linha Sísmica 0239-0366 mostrando as velocidades para cada fase tectônica sedimentar.

- **Velocidade na Água:** Através da análise de bibliografias, foi fixado o valor de 1500 m/s,
- **Velocidade no Pós-Sal:** Através da análise dos perfis DT foi observado uma variação entre 2200 m/s a 3000 m/s, sendo adotados 2700 m/s como a média para a área que se estende da plataforma continental até o limite offshore do sal e 1800 m/s para os sedimentos (pelágicos em sua maioria) após esse ponto.
- **Velocidade no Sal:** Através das bibliografias e confirmado por dados de poços, foi fixado o valor de 4500 m/s para fins de simplificar.

7.3 - Avaliações do Mapa Gravimétrico Regional e do Perfil Gravimétrico

Igualmente à geologia regional, a análise gravimétrica deve ser realizada a partir de uma escala regional para uma local, na qual a avaliação de um mapa regional da Bacia de Santos se torna necessário para interpretar as principais feições geológicas que produzem respostas significativas e de suma importância.

Para o projeto, serão utilizados dados e mapas provenientes de anomalia “free-air”, pois a mesma se equivale à anomalia Bouguer em área oceânica (Fig.35), já que a superfície topográfica está, neste caso, no mesmo nível do mar e quase coincidente com a superfície do geoide (De Mio, 2005). Mapas Bouguer podem ser utilizados em áreas na qual a massa de água é compensada com a batimetria, mas se aconselha a utilização de dados free-air quando existe uma baixa resolução de dados.

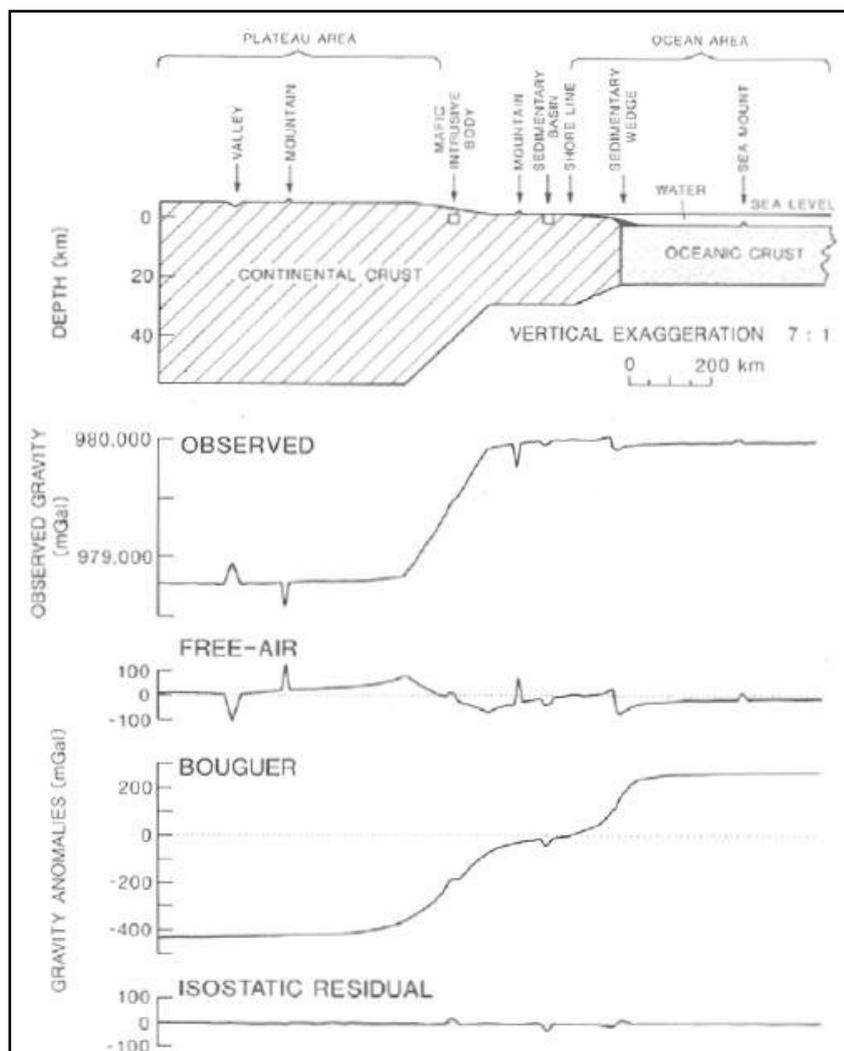


Fig.35: Gravidade observada e anomalias Free-air, Bouguer e isostática residual para um modelo de transição área continental e oceânica realçando a equivalência das anomalias Free-air e Bouguer em áreas oceânicas (De Mio, 2005).

Analisando o mapa de anomalia gravimétrica free-air derivados de satélite (Fig.36), apresentado em Gamboa *et. al.* (2008), nota-se variações significativas de densidade, associadas a mudanças de litologia e espessura das rochas do embasamento, no qual podem ser observadas quatro faixas de variações da anomalia gravimétrica em sentido ao mar, alternando entre baixos e altos gravimétricos.

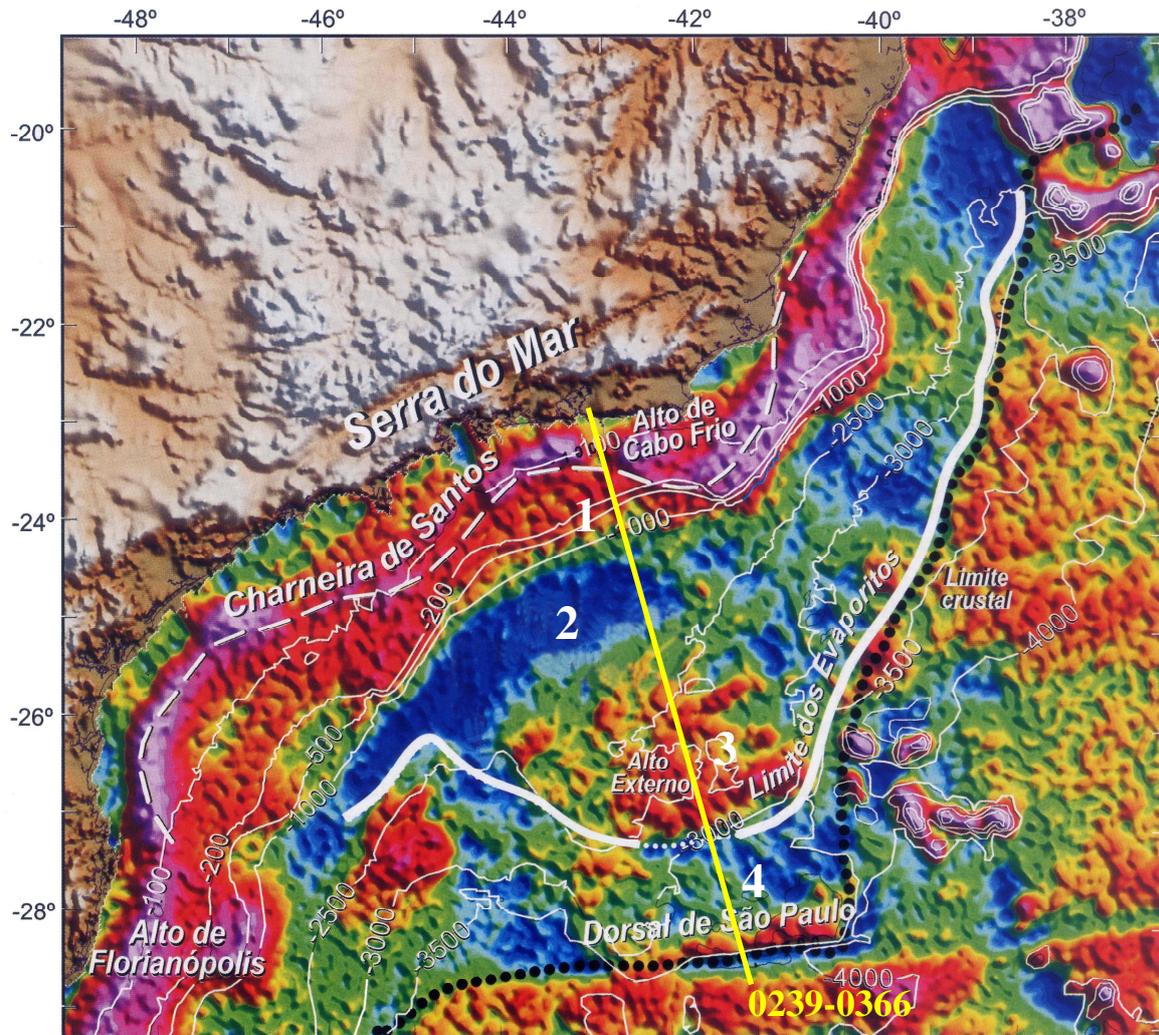


Fig.36: Mapa de anomalia gravimétrica ar-livre evidenciando as principais feições da bacia de Santos, como a Charneira de Santos, a Dorsal de São Paulo e o Alto de Florianópolis, além da localização da principal linha sísmica do projeto (Modificado de Gamboa *et. al.* 2008).

A primeira faixa corresponde à linha da charneira de Santos marcada por um alto gravimétrico que acompanha a linha de costa associado a uma elevação da Moho. Próximo à costa, anterior a linha de chaneira, é possível observar uma estreita faixa de baixos valores associada por alguns autores como uma zona de acúmulo de sedimentos em grábens internos à charneira.

Após a linha da Chaneira de Santos, já em região dominada morfológicamente pelo Platô de São Paulo, ocorre uma faixa larga com baixos gravimétricos de amplitude semelhante à primeira faixa, associada com os grandes depocentros da bacia. Essa extensa faixa estende-se do litoral do Paraná até o litoral do Rio de Janeiro.

Defronte ao litoral de São Paulo Gamboa *et. al.* (2008) associa uma zona de altos gravimétricos localizados com altos estruturais externos que se estendem até o limite evaporítico offshore e correspondente a terceira faixa. Respostas de mesmas amplitudes são observadas no limite sul e norte da bacia que correspondem ao Alto de Florianópolis e Alto de Cabo Frio respectivamente sendo ambos já mapeados e conhecidos. Após é retomado um ambiente de baixo gravimétrico.

A quarta e última faixa corresponde novamente a uma região de altos gravimétricos na região da Dorsal de São Paulo, em domínios de água ultra-profundas e fora do limite da Bacia de Santos. Esse aumento está, provavelmente, relacionado à elevação da “Moho” em zona controlada por crosta de natureza oceânica.

Um fato relevante é que os mapas gravimétricos free-air provenientes de satélite apresentam menor resolução espacial, medidas realizadas a cada 1° (1 grau) aproximadamente (dependendo do satélite) e em altitudes superiores a 35.000m, quando comparados a dados adquiridos em campanhas aerogravimétrica ou por navio. Como consequência, os dados provenientes de satélites registram, em sua grande maioria, grandes comprimentos de onda associados a grandes anomalias regionais.

Por tal motivo, optou-se pela análise de dados gravimétricos provenientes de campanha de navio realizada junto com a aquisição da linha 0239-0366 e adquiridos sobre as mesmas coordenadas. O intervalo dos pontos adquiridos no cruzeiro é de aproximadamente 10' (10 minutos) e sendo previamente reduzido das principais correções gravimétricas.

Como explicado anteriormente, foram escolhidos os dados de anomalia Free-air de navio para geração do perfil 2D (Fig.37) com o intuito de interpretar as principais respostas relacionadas a anomalias regionais, que igualmente ao mapa anterior se deu através dos grandes comprimentos de ondas, contudo é notado maior sensibilidade à variações locais de menores comprimentos de onda.

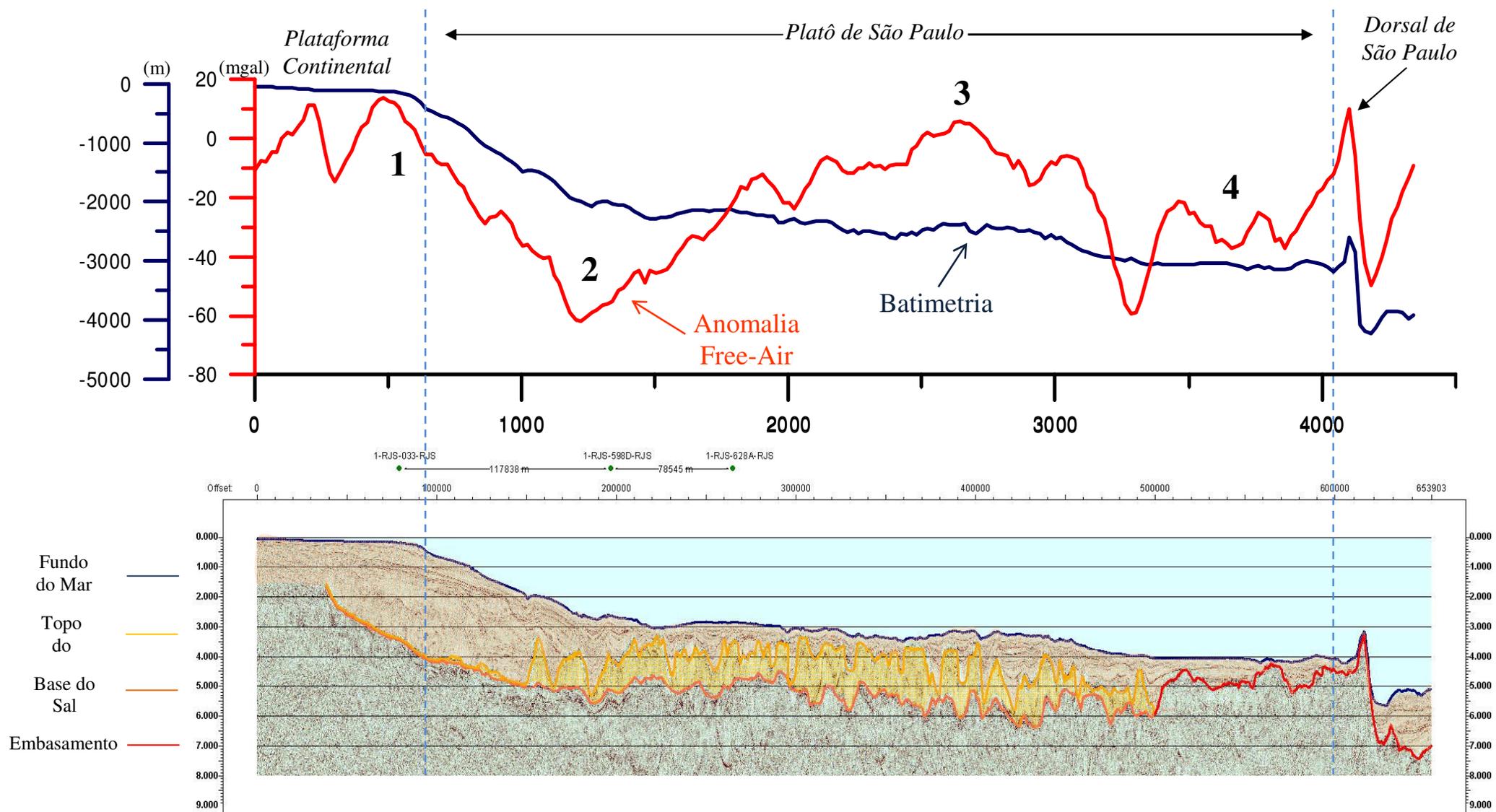


Fig.37: Plot 2D da batimetria e dados gravimétricos Free-air correlacionados com as principais zonas geomorfológicas e com a interpretação sísmica, ambos adquiridos na mesma campanha sísmica de navio da linha 0239-0366 sobre as mesmas coordenadas.

Igualmente à interpretação do mapa de Gamboa *et. al.* (2008), foi constatada quatro faixas que estão dispostas desde área limite da plataforma continental, ou Chaneira de Santos, relacionada a um alto, a duas zonas de baixo localizadas na área do platô de São Paulo intercaladas por um alto referente aos altos externos, e a um alto na área da Dorsal de São Paulo.

Menores variações são detectadas ao longo do perfil sendo interpretado em alguns pontos como sucessões de altos e baixos do embasamento e variações na espessura dos sedimentos evaporíticos, através de informações a priori.

É válido comentar a alta correlação da anomalia com o relevo do embasamento após o término dos domos de sal, porém, igualmente à sísmica, é difícil inferir a natureza dessa crosta somente pela análise desses dados.

7.3 – Geração do Modelo Gravimétrico

A última etapa do projeto se dá pela geração do modelo gravimétrico para estimativa da profundidade do embasamento. Para tal, como descrito na metodologia, será utilizado o aplicativo GM-SYS (Geosoft Inc.) descrito em NGA (2001), que é fundamentado nos métodos de modelagem de Talwani *et. al.* (1959) com utilização de diferentes algoritmos e rotinas para sua implementação.

Basicamente, o GM-SYS calcula as respostas gravimétrica e magnética referentes à geologia dos corpos em sub-superfície através da geração de modelos 2D, 2,5D e 3D (NGA, 2001). No caso do trabalho, modelo 2D, a modelagem é realizada através da geração de blocos provenientes das informações importadas de condicionantes externos (sísmica e poços), em arquivos tipo “ASCII” ou “XYZ”, ou criados interativamente no próprio programa.

Após a criação dos blocos, serão atribuídos aos mesmos parâmetros como: densidade, susceptibilidade magnética, magnetização remanescente e velocidade sísmica (NGA, 2001). Para tal, o programa assume a terra como bidimensional, com mudanças na profundidade (z) e na direção do perfil (x), assumindo na direção perpendicular ao perfil (y) extensão dos blocos até o infinito (De Mio, 2005) (Fig.38).

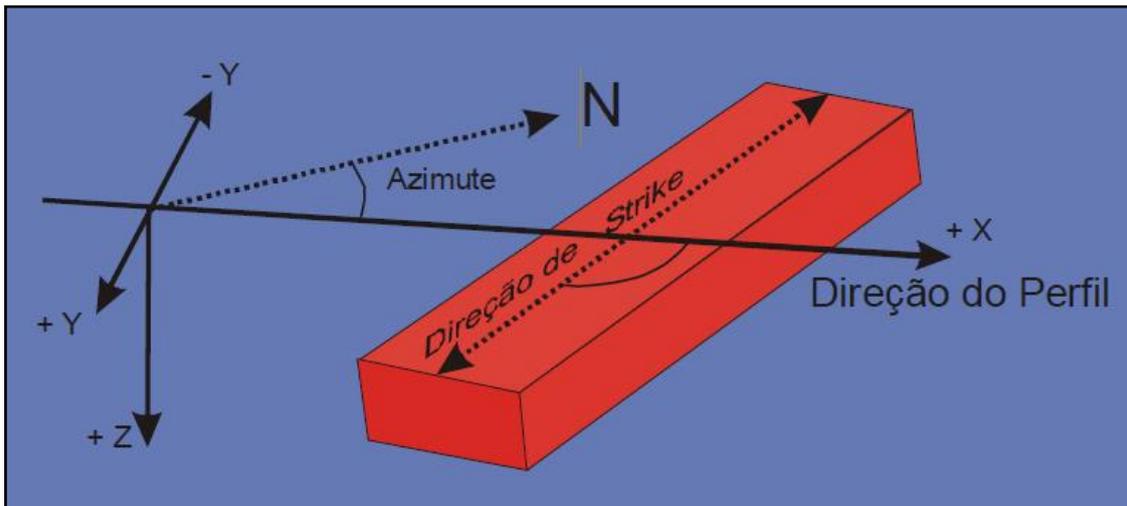


Fig.38: Exemplo da orientação de um bloco dentro do GMS-YS. A direção X representa a direção do perfil a ser modelado. Y representa a direção de strike do bloco, que pode variar em relação a X. A extensão do bloco em Y pode ser infinita ou limitada em qualquer ponto (De Mio, 2005).

Como o projeto foca somente os métodos sísmico e gravimétrico, as velocidades sísmicas dos extratos e as densidades serão os únicos parâmetros necessários. As escolhas das velocidades sísmicas já foram apresentadas anteriormente, sendo discutido nesse tópico somente o critério para escolha das densidades relativas aos pacotes sedimentares, aos diferentes tipos de crostas e ao manto.

Toda a seleção dos valores de densidades foi baseada novamente nas principais bibliografias De Mio (2005), Telford *et. al.* (1990), Keary (2009), dentre outras relacionadas à área de estudo e regiões similares e através dos perfis RHOB contidos em alguns poços, sendo assim segue o critério de definição das densidades:

- **Água:** Valor estimado de $1,03 \text{ g/cm}^3$;
- **Pós-Sal:** Composto basicamente por arenitos ($2,35 \text{ g/cm}^3$), folhelhos ($2,40 \text{ g/cm}^3$) e carbonatos ($2,55 \text{ g/cm}^3$), sendo escolhidos $2,40 \text{ g/cm}^3$ como densidade média;
- **Sal:** Composto em sua maioria por Halita, sendo escolhida a densidade referente à mesma de $2,20 \text{ g/cm}^3$;

- **Pré-Sal:** Igualmente ao Pós-Sal, é formada basicamente por arenitos ($2,35 \text{ g/cm}^3$), folhelhos ($2,40 \text{ g/cm}^3$) e carbonatos ($2,55 \text{ g/cm}^3$), porém apresentando uma maior concentração de carbonatos e aumento de pressão devido a profundidade (De Mio, 2005), elevando a densidade para $2,50 \text{ g/cm}^3$;
- **Rochas Vulcânicas (Derrames do Pré-Rifte):** De Mio (2005) descreve como sendo o maior desafio na modelagem, devido às variações possíveis em termos de composição e geometria. De uma forma geral, é posto um intervalo de densidade entre $2,75 \text{ g/cm}^3$ a $3,05 \text{ g/cm}^3$ sendo a escolha adaptada ao longo do modelo.
- **Crosta Continental:** Descrita nas bibliografias com valor médio de $2,67 \text{ g/cm}^3$;
- **Crosta Oceânica:** Descrita nas bibliografias com valor médio de $2,75 \text{ g/cm}^3$;
- **Crosta Transicional:** Esperado um valor entre a média da crosta continental com a crosta oceânica de $2,71 \text{ g/cm}^3$, podendo variar para mais e para menos dependendo da história da mesma.
- **Manto:** Descrita nas bibliografias com valor médio de $3,30 \text{ g/cm}^3$;

Com as geometrias do pós-sal, do sal e do embasamento, em águas profundas, já definidas e migradas para profundidade, a última etapa antes da modelização efetiva é definição da zona de contato do limite inferior da crosta com o Manto, que é denominada “Moho” que será diretamente responsável pelas grandes variações dos comprimentos de onda.

Em outras palavras, é a geração da profundidade de compensação isostática, que se dá pelas concentrações e deficiências de massa distribuídas tanto nos continentes quanto nos oceanos. (Blakely, 1995), descreve dois principais modelos, Airy e Pratt, que colocam que topografias de maior grau são compensadas por deficiências de massa, enquanto grandes depressões são compensadas em profundidade por excessos de massa.

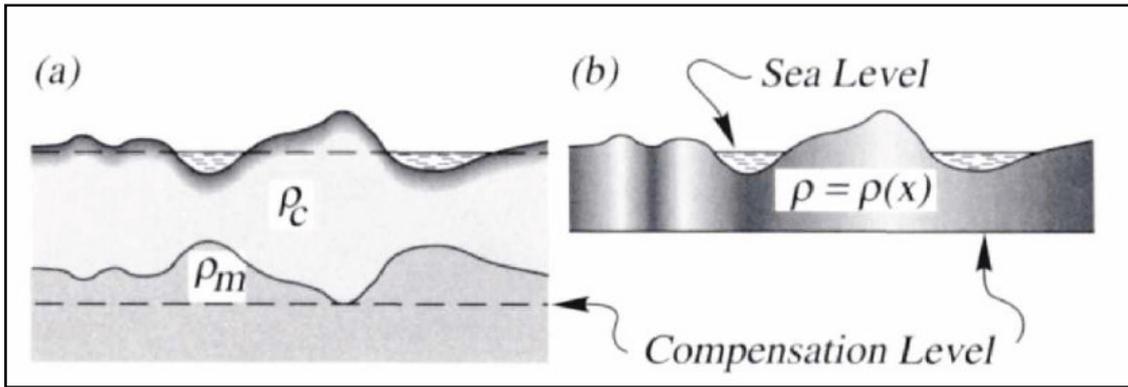


Fig.39: Modelos crustais de Airy (a) e Pratt (b) (Blakely, 1995).

Airy descreve seu modelo na forma de ondulações da interface entre crosta e manto; isto é, abaixo de montanhas, raízes de baixa densidade se entendem até o manto, enquanto abaixo de bacias oceânicas, o manto de alta densidade se flexura para cima na crosta de baixa densidade, baseado que a massa total deve ser igual em todas as colunas que se estendem da superfície da terra à profundidade de compensação que varia de ponto a ponto.

Pratt coloca uma densidade variando lateralmente ao longo dos diferentes tipos de crosta, de modo que cada seção vertical possui massa idêntica sobre uma única profundidade para a “Moho”.

Após essa análise, é visto que o modelo proposto por Airy é geologicamente mais coeso em grande parte do perfil. Portanto para uma primeira aproximação das profundidades de compensação isostática, se utiliza a fórmula (3) apresentada em Blakely (1995) para a modelização baseada em Airy.

$$\text{Raiz} = \text{prof. base} - \left[\text{coluna d'água} * \frac{(\rho_{\text{crosta}} - \rho_{\text{água}})}{(\rho_{\text{manto}} - \rho_{\text{crosta}})} \right] \quad (3)$$

Onde:

Raiz = Profundidade da “Moho”,

prof. base = Profundidade Inicial da Crosta (30 km para continental e 15 para oceânica)

coluna d'água = Profundidade da Superfície até o fundo do mar e

ρ_{crosta} = Densidade da Crosta (Continental ou Oceânica),

$\rho_{\text{água}}$ = Densidade da água

ρ_{manto} = Densidade do manto.

Como resultado temos a geração do primeiro modelo gravimétrico para a linha 0239-0366 (Fig.40), sendo representados somente os horizontes exportados e a profundidade de compensação derivada de Airy.

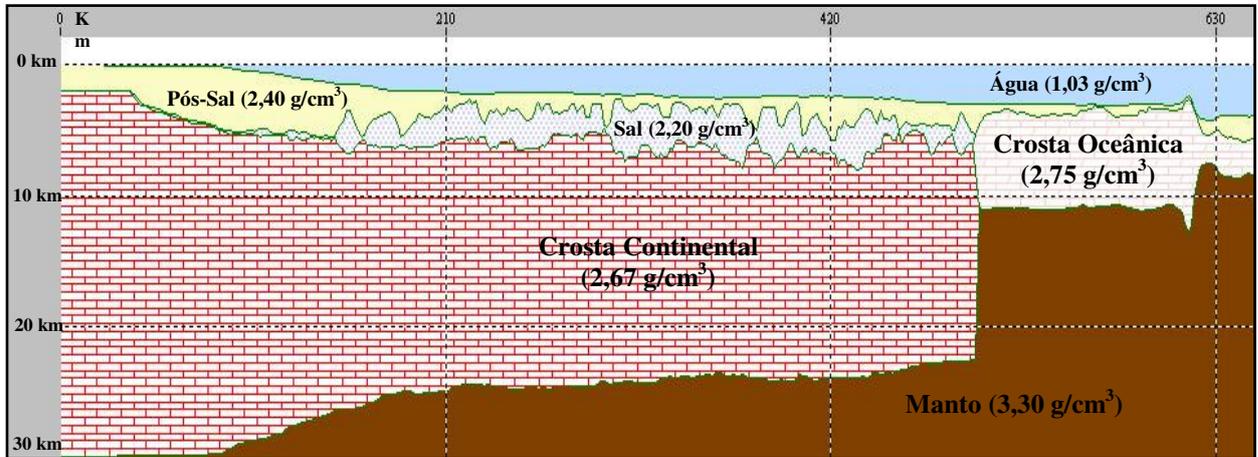


Fig.40: Modelo Gravimétrico criado a partir da importação dos horizontes migrados e com a adição da profundidade isostática derivada do modelo de Airy.

Nota-se que existe uma mudança brusca na passagem da crosta continental para a oceânica e uma Moho praticamente plana na região do Platô de São Paulo. Um ponto importante é que não foi inserida no modelo qualquer geometria referente aos sedimentos do Pré-Sal e conseqüentemente ao limite superior do embasamento, sendo esse modelo uma observação inicial do comportamento da crosta ao longo da seção.

Partindo do primeiro modelo, que serve de base para os demais, temos a geração de um segundo (Fig.42), no qual é colocada uma zona de contato crosta-manto com maiores variações na área do Platô de São Paulo devido um alto externo, já mencionado ao longo do trabalho, com uma transição para a crosta oceânica mais suavizada, com uma geometria para a seção subjacente ao sal, excluindo as rochas vulcânicas e o limite crosta continental oceânica ao término dos sedimentos evaporíticos.

Esse modelo adapta-se bem à zona inicial do perfil, porém apresenta diferenças consideráveis após a linha de chaneira, que podem estar associadas à ausência das vulcânicas nos pequenos comprimentos de ondas e uma crosta ainda não bem definida para os grandes comprimentos de onda.

O terceiro modelo (Fig.43) tenta compensar a grande diferença observada na área do platô de São Paulo com a inclusão de uma crosta transicional, de densidade maior do que a continental, que se estende desde o início do Platô de São Paulo até o limite evaporítico offshore. Essa modificação se mostrou bastante satisfatória, na qual a diferença ainda existente, na ordem de 5 a 10 mgal, é debitada a ausência das rochas vulcânicas no modelo. Todavia, foi mantida uma crosta oceânica na área próxima a Dorsal de São Paulo, mantendo diferenças maiores que 10 mgal.

O quarto e último modelo (Fig.44), mantém a geometria inicial apresentada pelos dois últimos modelos, com uma leve modificação na área central do Platô de São Paulo, colocando um alto externo mais extenso. A principal modificação se dá pelo aumento do limite da crosta transicional após a Dorsal de São Paulo, com o aumento da profundidade da “Moho” nessa zona, iniciando assim a crosta oceânica efetiva. Esse argumento é sustentado, pois na área posterior à Dorsal, se dão início as zonas de transferências (Fig.42) descritas em Alves (2002), que usualmente nas margens tipo rifte caracterizam o início da crosta oceânica.

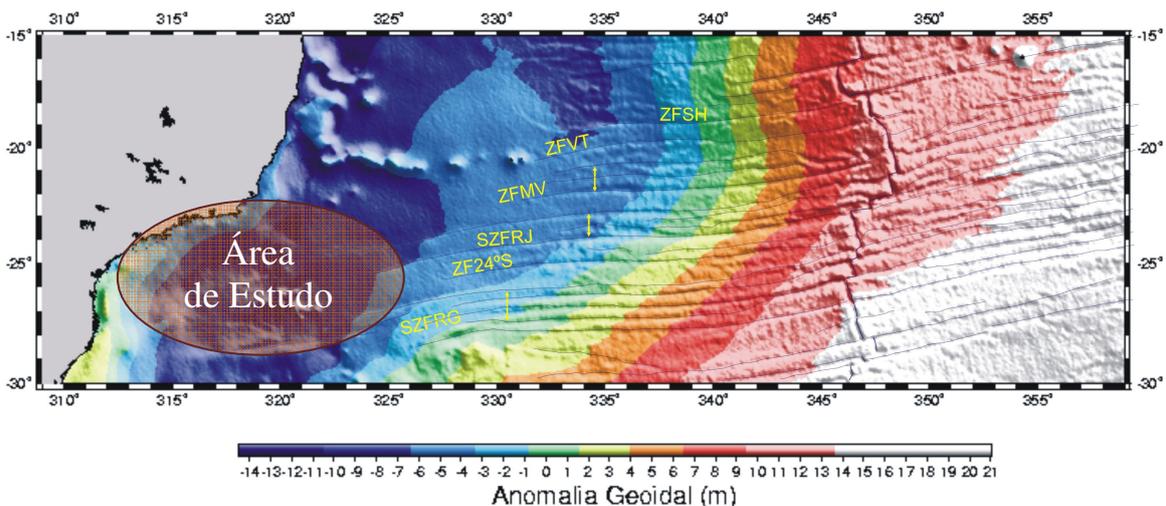


Fig. 41: Mapa de Anomalia Geoidal derivado da altimetria de satélite (Sandwell & Smith, 1997). Traçado das zonas de fratura de Santa Helena (ZFSH), Vitória-Trindade (ZFVT), Martim Vaz (ZFMV) e de 24°S (ZF24°) e dos sistemas de zonas de fratura do Rio de Janeiro (SZFRJ) e de Rio Grande (SZFRG) (Modificada Alves, 2002).

Quando observado a diferença entre as anomalias observadas e calculadas, é notado que o último modelo se adapta melhor, porém é prematuro afirmar que as características apresentadas são efetivamente corretas, pois poucas campanhas de perfurações profundas foram realizadas ao longo da área e somente elas podem validar o modelo proposto.

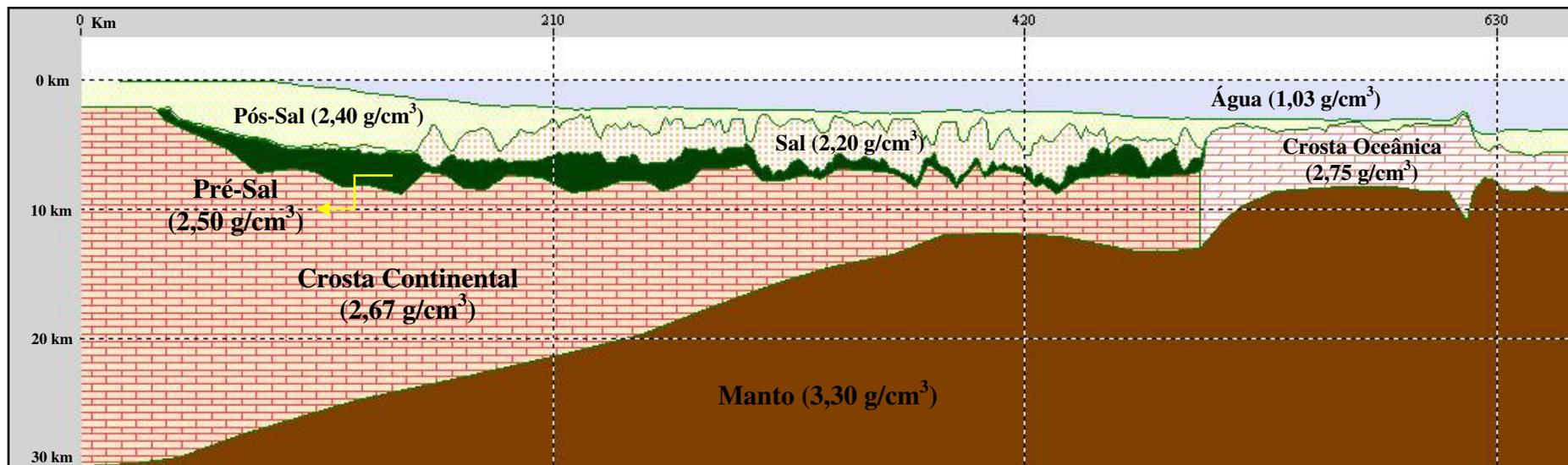
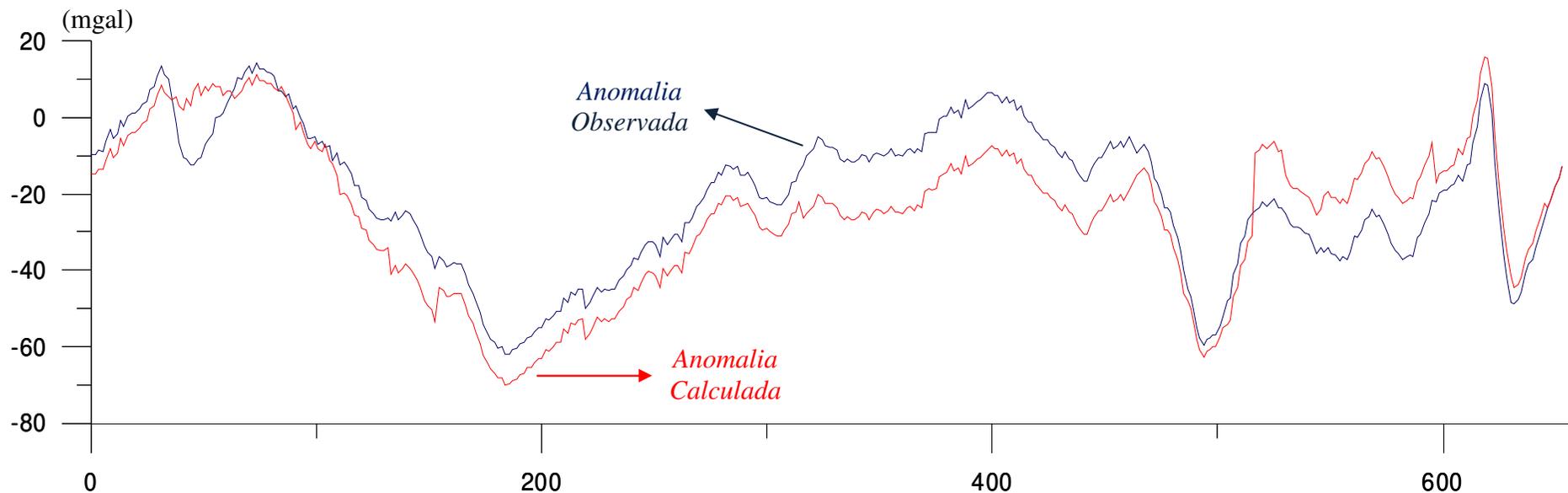


Fig.42: Modelo Gravimétrico derivado do primeiro mostrando uma maior variação da profundidade da “Moho”, porém com diferenças significativas quando comparado o dado calculado com o medido.

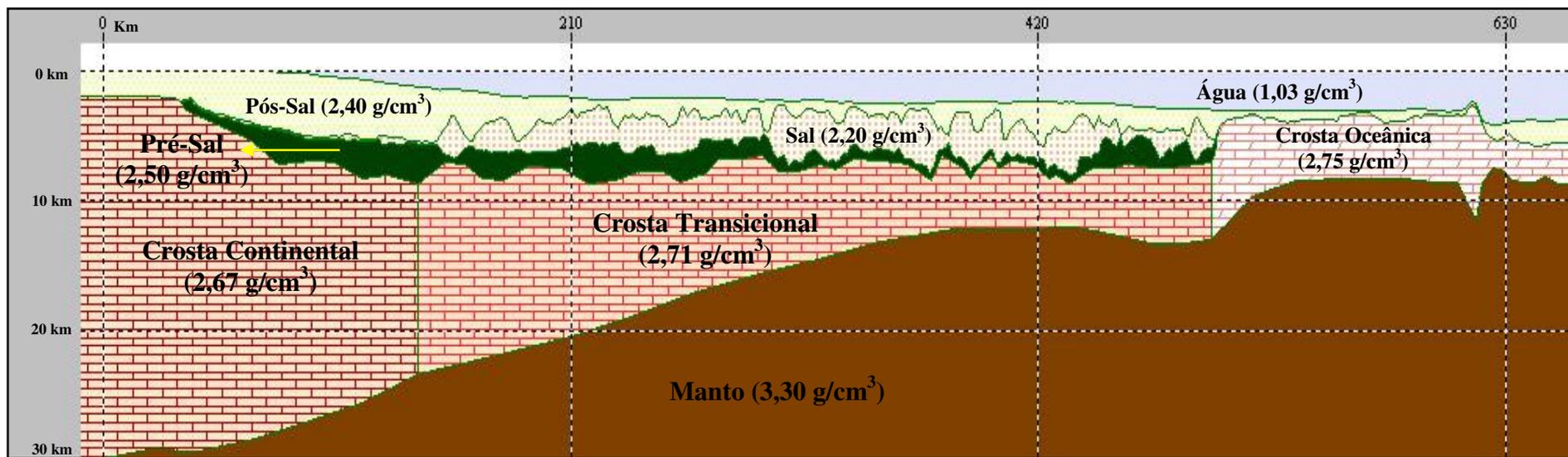
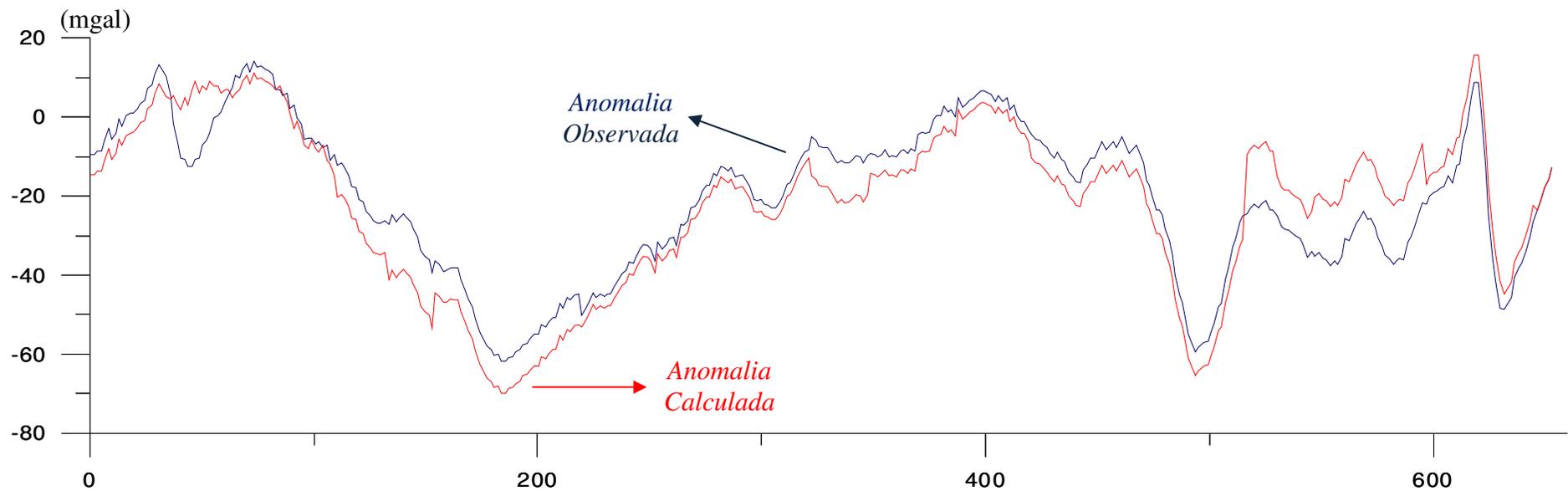


Fig.43: Modelo Gravimétrico modificado do segundo incluindo uma crosta transicional que se estende ao longo do Platô de São Paulo até o limite offshore dos sedimentos evaporíticos, mantendo a crosta continental na zona da Dorsal de São Paulo.

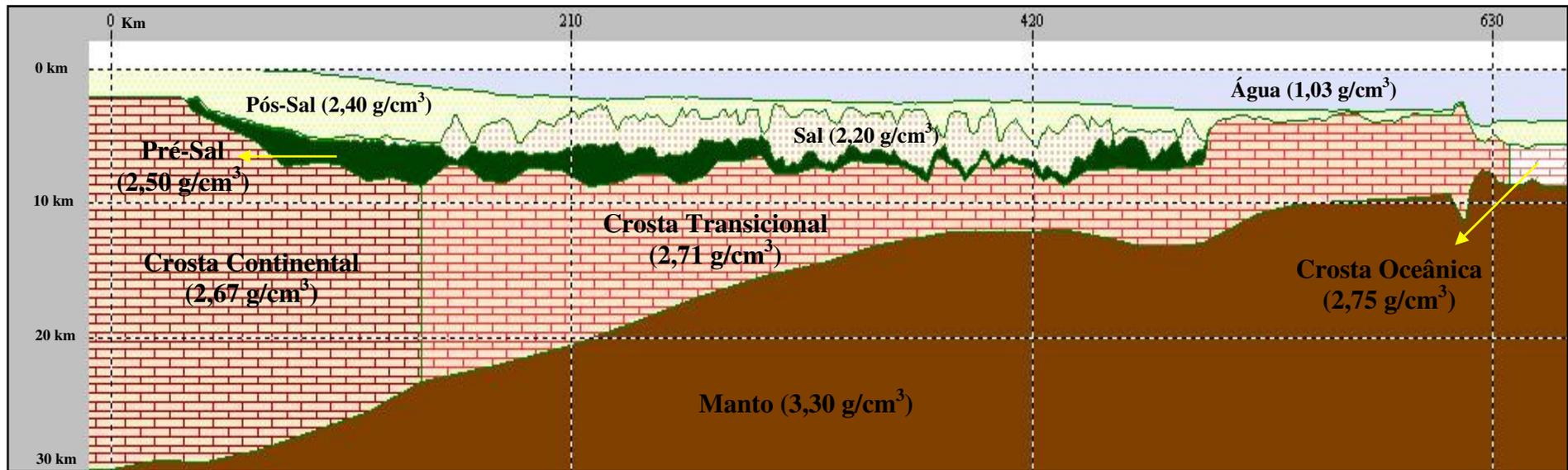
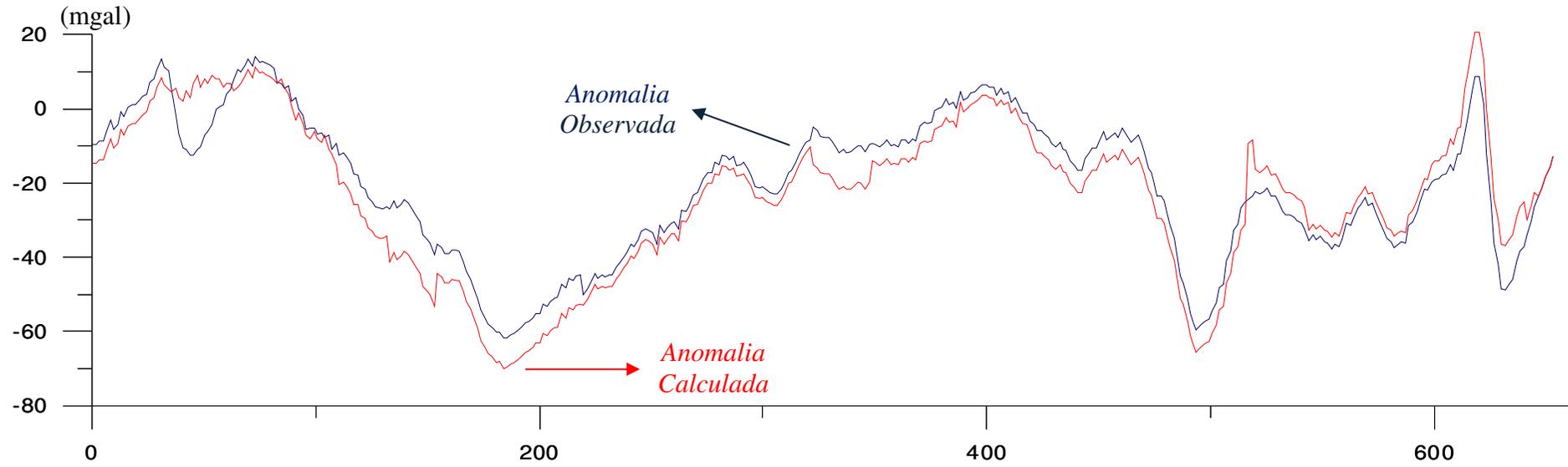


Fig.44: Modelo Gravimétrico modificado do terceiro levando limite da crosta transicional após a Dorsal de São Paulo, iniciando posteriormente a crosta oceânica efetiva em contato com a zona de transferências do Rio Grande.

8. Conclusão

A modelagem gravimétrica crustal realizada com dados gravimétricos free-air adquiridos sobre a linha 0239-0366 e auxiliadas por dados sísmicos e de poços e na Bacia de Santos, mostrou-se satisfatória quando analisado as espessuras crustais resultantes e as estruturas presentes na sequência rifte da bacia, inicialmente desconhecida pela baixa resolução pela sísmica de reflexão.

A ausência da modelagem das rochas vulcânicas justifica as diferenças ainda mantidas pelo modelo em termos dos baixos e médios comprimentos de onda, no qual um trabalho futuro em conjunto com o método magnético poderá facilitar a modelagem dessa zona, através deconvolução de Werne para mapeamento do denominado embasamento magnético.

As quatro zonas de altos e baixos valores observadas na análise do mapa regional (Fig.36) e no perfil 2D plotado (Fig.37), são justificadas na modelagem por mudanças significativas na profundidade da “Moho” e na característica do embasamento. As mudanças mais significativas estão na região da charneira de Santos, onde devido ao estiramento crustal a crosta continental original passa de 30 km para 25 km, iniciando uma crosta continental atenuada (crosta transicional) com valores de densidades maiores, no alto externo no qual ocorrer uma elevação da profundidade da Moho e na região da Dorsal de São Paulo, na passagem da crosta transicional para uma crosta oceânica efetiva.

Por último, as características heterogêneas da crosta ao longo do perfil estão em concordância com as principais fontes bibliográficas utilizadas como referencias ao longo do projeto como Leyden (1976), Asmus & Porto (1980), Guimarães *et. al.* (1982), Kowsmann *et. al.* (1982), Macedo (1990), Chang *et. al.*(1992), De Mio (2005). Porém a definição exata dos limites Crosta Continental, Transicional e Oceânica ainda está em aberto à espera de campanhas de poços profundos para validação e sustentando assim trabalhos futuros, se possível com a integração de mais métodos geofísicos.

9. Referências Bibliográficas

ALLEN, P. A. & J. R. ALLEN. *Basin Analysis - Principles & Applications*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990. 451p.

ALMEIDA, F. F. M.: The System of Continental Rifts bordering the Santos Basin. Intern. Symp. On Cont. Margins of Atlantic Type., Rio de Janeiro, 1976, An. Acad. Bras. Ciênc., 48 (Supl.), 15-26p.

ALMEIDA, F. F. M.: Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 1983, v. 3, 139-158p.

Alves, E.C.: Zonas de Fratura Oceânica e Suas Relações com a Compartimentação Tectônica do Sudeste do Brasil, Rio de Janeiro (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro), 2002. 233p.

ASMUS, H. E.: Significado geotectônico das feições estruturais das bacias marginais brasileiras e áreas adjacentes. In: 32º Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Salvador, 1982, Anais, V.4, 1547-1557p.

ASMUS, H. E. & P. R. BAISCH.: Geological Evolution of the Brazilian continental Margin. *Episodics*, v.4, p. 3-9, 1983.

AZEVEDO, R. L. M.: Paleoceanografia e a evolução do Atlântico Sul no Albiano: Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 231-249, maio/nov. 2004.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M; GONÇALVES, J.H.: *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692 p.

BLAKELY, R. J. & G. C. CONNARD. Crustal studies using magnetic data. In: L. C. PAKISER & W. D. MOONEY. *Geophysical Framework of the continental United States*. Boulder: Geological Society of America, 1989. p. 45-60

BLAKELY, R.J., **Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications**, Cambridge University Press, pp. 437, 1995.

BACOCOLLI, G. & ARANHA, L.G.F. 1984. *Evolução estrutural do Brasil meridional*. Rio de Janeiro, Petrobrás/DEPEX. 153p. (Rei. Int.).

CAINELLI, C. & MOHRIAK, W.U. 1999. Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the Eastern Brazilian continental margin. Episodes, Journal of International Geoscience, 22(3):206-216.

CASTRO, D.L., Modelagem Gravimétrica 3-D de Corpos Graníticos e Bacias Sedimentares com Embasamento Estrutural de Densidade Variável, Revista Brasileira de Geofísica, v.23, n.3, p.295-308, 2005

CHANG, H. K. & KOWSMANN, R. O.: 1987 Interpretação genética das seqüências estratigráficas das bacias da margem continental brasileira: Revista Brasileira de Geociências, v. 17, no. 2, p. 74–80.

CHANG, H. K. & KOWSMANN, R. O.: Subsidência térmica e espessura crustal na Bacia de Santos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. p 1602-1614.

CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A.M.F.; BENDER, A.: 1992. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. Tectonophysics, 213:97-138.

CONDI, F.J., ZELT, C.A., SAWYER, D.S e HIRASAKI, G. J., Gravity Inversion for Rifted Margin Deep Structure Using Extension and Isostatic Constraints, Geophysical Journal International, v.138, p.435-446, 1999

Da Silva, E.P.A.; Portugal, R.S.; Vidal, A.C.: Modelagem avo - estudo de caso em um poço no Campo de Namorado. In: Revista Brasileira de Geofísica, São Paulo, vol.28, no.2.

DELL'AVERSANA, P.: 2001, Integration of seismic, MT and Gravity Data in a Thrust Belt Interpretation: First Break, V.19, No.6, p334-341.

DE MIO, E.: *Modelagem Crustal da Bacia de Santos pela Integração de Métodos Geofísicos*. Rio Claro. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista), 2005. 94p.

De Araújo, J.S.: *Modelagens Magnetotélúrica e Sísmica na Bacia do Espírito Santo. Macaé*. (Dissertação de Mestrado, Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense), 2005. 55p.

Dias, J.L.: Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 7-25, nov. 2004/maio 2005, v. 13, n. 1, 7-25p.

Estrella, G.O.: Pré-Sal: Conhecimento, estratégia e oportunidades. In: Fórum Nacional / INAE, 20.; Edição Extraordinária, 3 dez. 2008, Rio de Janeiro. Pastore, Affonso Celso. Teatro mágico da cultura, crise global e oportunidades do Brasil. Rio de Janeiro: J. Olympio, 2009.

Figueiredo, A.M.F.; Mohriak, W.U.A.: Tectônica Salífera e as Acumulações de Petróleo da Bacia de Campos. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1984, Anais, 1380-1394p.

GAMBOA, L.A.P.; Machado, M.A.P.; Da Silveira, D.P.; De Freitas, J.T.R.; Da Silva, S.R.P.: Evaporitos Estratificados no Atlântico Sul: Interpretação sísmica e controle tectono-estratigráfico na Bacia de Santos In: Mohriak, W.; Szatmarn, P.; Campos, Anjos, S.M.C.; (editores) - Sal Geologia e Tectônica, 2008, 340-359 p.

GABAGLIA, R.; PEDERNEIRAS, G.; MILANI, E.J.: *Origem e Evolução de Bacia Sedimentares – Brasil*. 2. Geologia, 1990. 415p.

Gladzenko, T. P.; Hinz, K.; Eldholm, O.; Meyer, H.; Neben, S.; Skogseid, J. 1997. South Atlantic volcanic margins. *Journal of the Geological Society*, . **154**: 465-470.

GUIMARÃES, P. P. D.; ALMEIDA, H. P.; R. O. KOWSMANM; M. P. A. COSTA; M. P. BOA HORA. Modelagem Gravimétrica na porção sul do platô de São Paulo e suas implicações geológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32. 1982, Salvador. *Anais*. Salvador, 1982. P. 1570-1575.

KARNER, G.D., 2000, Rifts of the Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil: Distribution and Timing. In: Mello, M.R.; Katz, B.J. (Eds), Petroleum systems of South Atlantic Margins. Tulsa, Okla, Am.Ass.Petro.Geol, p. 302- 315 (Memoir 73).

KARNER, G. D. & N. W. DRISCOLL. Tectonic and stratigraphic development of the West African and eastern Brazilian margins; insights from quantitative basin modelling. *Geological Society Special Publication*, v.153, p. 11-40, 1999.

Keary, P.; Brooks, Michael.; Hill, I.: (2009)- Geofísica de Exploração , Trad. Maria Coelho (coord.) et alii. Ed. Oficina do Texto, São Paulo, SP.

Kingston, D.R.; Dishroon, C.P.; Williams P.a.: Global basin classification system. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, AAPG, 1983, Tulsa, Oklahoma, V.63, n.12, 2175-2193p.

KOWSMANN, R. O.; M. P. A. COSTA; H. P. ALMEIDA; P. P. D. GUIMARÃES; M. P. BOA HORA. Geologia Estrutural do Platô de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32. 1982, Salvador. *anais*. Salvador: SBG, 1982. p 1558-1569.

KUMAR, N.; GAMBOA, L.A.P.; SCHREIBER, B.C.; MASCLE, J. 1977. Geologic history and origin of São Paulo Plateau (Southeastern Brazilian Margin) comparison with the Angolan Margin, and the early evolution of the Northern South Atlantic, In: DEEP SEA DRILLING PROJECT. Initial Reports. La Jolla, Univ. of California, Scripps Institution of Oceanography, Leg 39, p. 927-945.

KUMAR, N. & GAMBOA, L.A. 1979. Evolution of the São Paulo Plateau (Southeastern Brazilian Margin) and implications for the early history of South Atlantic, *Geological Society of American Bulletin*, 90(3):281-293.

LEYDEN, R, Ludwig, W. J.; Ewing, J. 1971: Structure of the continental margin of Punta del Este, Uruguay, and Rio de Janeiro, Brazil. *AAPG Bulletin*, 55: 2161-2173.

LEYDEN, R.: Salt distribution and crustal models for the eastern Brazilian margin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.48, p. 159-168, 1976.

MACEDO, J. M. Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. In: G. P. RAJA GABAGLIA&E. J. MILANI. *Origem e evolução de bacia sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1990. P. 361-376

MCKENZIE, D. P.: Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Science Letters*, v.40, p. 25-32, 1978.

Meisling, KE.; Cobbold, PR.; Mount, VS.: (2001) Segmentation of na obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, Southeastern Brazil. *Am Assoc Petroleum Geol Bull* 85(11):1903– 1924p.

Mohriak.; W.: *Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira*. In: L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (editores), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003. Cap.3, 87 – 94p.

Mohriak, W.; Szatmarn, P.; Campos, Anjos, S.M.C.; (editores) - *Sal Geologia e Tectônica*, 2008, 340-359 p.

NGA. *GM-SYS - Gravity/Magnetic modeling software user's guide*. Corvallis: Northwest Geophysical Associate, 2001. 102p.

Nogueira, M.S.; Lemos, V.B.; Terra, J.S.G.: As Coquinas do Membro Morro do Chaves, Cretáceo Inferior da Bacia de Alagoas e seu Potencial para Reservatório de Petróleo. In: 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, 2003, Rio de Janeiro.

PALMA, J.J.C. 1984. Fisiografia da área oceânica. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. (editores), *Geologia do Brasil: Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais - Escala 1:2500000*. MME/DNPM, p. 429-444.

Papaterra, G.E.Z.: *Pré-Sal – Conceituação geológica sobre uma nova fronteira exploratória no Brasil*. Rio de Janeiro. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro), 2010. 94p.

Pereira, M.J., Macedo, J.M. 1990. A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 4(1):3-11.

PEREIRA, M. J. & F. J. FEIJÓ.: Bacia de Santos. *Estratigrafia das Bacias Sedimentares do Brasil. Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.8. n.1, p. 219-234, 1994.

Pereira, M.J., Barbosa, C.M., Agra, J., Gomes, J.B., Aranha, L.G.F., Saito, M., Ramos, M.A., Carvalho, M.D., Stamato, M., Bagni, O.: *Estratigrafia da Bacia de Santos: análise das seqüências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica*. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 1986, Anais, 1: 65-79p.

Pereira, M.J., Feijó, F.J. 1994. Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 8(1):219-234.

Pereira, M. J. 1994. *Seqüências deposicionais de 2ª/3ª ordens (50 a 2,0 Ma) e tectono-estratigráfico Cretáceo de cinco bacias marginais do Brasil. Comparações com outras áreas do globo e implicações geodinâmicas*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 271p.

Ponte, F.C & Asmus, H.E.: *Geological Framework of the Brazilian Continental Margin: Geologisches Rundschau*, Berlin, 1978, V. 67, 201-235p.

Ponte, F; Asmus, H; *As Bacias Marginais Brasileiras: Estágio Atual de Conhecimento*, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 385-420, maio/nov. 2004.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J. e JORDAN, T.H. (2006)- Para Entender a Terra, Trad. Rualdo Menegat (coord.) et alii. Ed. Bookman, Porto Alegre, RS.

Rabinowitz, P. D. & Labrecque, J.: 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins. *Journ. of Geophysical Research*, **84**: 5973-6002.

SLEEP, N., e FUJITA, K., **Principles of Geophysics**, Blackwell Science, pp.608.

TALWANI, M.; J. M. WORZEL; M. LANDISMAN. Rapid gravity computations for twodimensional bodies with application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research*, v.64. n.1, p. 49-59, 1959.

TELFORD, W. M.; L. P. GELDART; R. E. SHERIFF. *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770p.

White, R. S. & McKenzie, D. P. 1989. Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research*, 94: 7685-7729.

Site da Internet:

Instituto de Geofísica da UNICAMP: www.ime.unicamp.br/~js/geofis.html (Acessado 03/09/2010 as 16:00)

National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA: www.noaa.gov (Acessado 22/09/2010 as 14:00)

Natural Resources Canada - NRCAN: www.nrcan.gc.ca (Acessado 15/08/2010 as 10:00)

Centre for Geodynamics, Geological Survey of Norway – NGU: www.ngu.no/ (Acessado 06/06/2010 as 18:00)