

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

# AVALIAÇÃO GEOFÍSICA GEOLÓGICA DE UMA PORÇÃO DE QUEBRA DE TALUDE DA BACIA DO JEQUITINHONHA

RENATA VIEIRA DOS SANTOS

BELÉM 2013

# RENATA VIEIRA DOS SANTOS

# AVALIAÇÃO GEOFÍSICA GEOLÓGICA DE UMA PORÇÃO DE QUEBRA DE TALUDE DA BACIA DO JEQUITINHONHA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de mestre em Geofísica.

Área de concentração: Métodos Sísmicos. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ellen de Nazaré Souza Gomes.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Roseane Ribeiro Sarges.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema de Bibliotecas da UFPA

Santos, Renata Vieira dos

Avaliação geofísica geológica de uma porção de quebra de talude da Bacia do Jequitinhonha/ Renata Vieira dos Santos; Orientadora: Ellen Nazaré de Souza Gomes; Coorientadora: Roseane Ribeiro Sarges - 2013.

Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2013.

1.Método de reflexão sísmica. 2.Processamento Sísmico. 3. Sismoestratigrafia. 4. Bacia do Jequitinhonha. I. Gomes, Ellen Nazaré de Souza, *orient*. II.Sarges, Roseane Ribeiro, *coorient*. III. Universidade Federal do Pará III.Título.

CDD 22° ed.:551.22

#### RENATA VIEIRA DOS SANTOS

# AVALIAÇÃO GEOFÍSICA GEOLÓGICA DE UMA PORÇÃO DE

### QUEBRA DE TALUDE DA BACIA DO JEQUITINHONHA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção de grau Mestre em Ciências na área de Geofísica.

Data de Aprovação: /

Banca Examinadora:

rof<sup>®</sup> Ellen de Nazaré Souza Gomes - Orientadora Doutora em Geofísica Universidade Federal do Pará

Prof<sup>a</sup> Roseane Ribeiro Sarges – Membro Doutora em Geologia Universidade Federal de Goiás

Figurab Dens )an

Prof<sup>®</sup> José Jadsom Sampaio de Figueiredo Doutor em Ciências e Engenharia do Petróleo Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos em especial a minha mãe Izabel Vieira pelo amor, apoio, respeito e companheirismo. Em memória ao meu irmão amado Eduardo Vieira dos Santos.

#### AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não teria sido concluído se não fosse à colaboração e incentivos de pessoas importantes, das quais não poderia deixar de expressar minha extrema e sincera gratidão.

Em primeiro lugar a Deus, por ser inspiração e me conceder força necessária para superar os obstáculos que enfrentei esse ano e por está ao meu lado sempre me protegendo.

A toda minha família em especial a minha mãe exemplo de mulher, a meu pai e a todos os meus familiares pela motivação, orações e principalmente por me ensinarem a ser um ser humano melhor.

Ao Grupo de Pós-Graduação em Geofísica, Métodos Sísmicos do Instituto de Geociências da UFPa pelos recursos, espaços, laboratórios e materiais.

A UFPa, CAPES, INCT e Petrobrás pelo apoio financeiro, oportunidades e suporte ofertado ao curso e a minha pesquisa.

A professora Ellen Nazaré Gomes, pela orientação, companheirismo, paciência e principalmente pela oportunidade que me foi dada, minha sincera gratidão.

A professora Roseane Sarges pelas conversas, orientação, ajuda, amizade e pelos bons momentos que juntas passamos.

A todos os professores do CPGf e CPGG pelo conhecimento transmitido, disponibilidade e atenção

Ao professor Marivaldo Nascimento pelas dicas e orientações, meu muito obrigado.

Aos meus colegas de curso Adriano Ferreira, Felipe Astur, Alan Nunes, Laisse Ramos, Herson Rocha, pelo companheirismo e pelos grandes desafios que passamos. Em especial a Girlan Souza por sua amizade, orações, motivação e pelas longas horas de estudos juntos.

Aos amigos Adriano Cesar, Wagner Silva, Raiza Macambira, Adriane Pinheiro, Jessica Lia, Isis Tourinho, Diogo Rezende, Cezar Gomes e Cristiano Nunes, pela amizade, apoio e incentivo.

Aos colegas Andrei Oliveira, Bruce Fabini, Marcio Moreira e Lelis Oliveira por terem me ajudado em diferentes etapas dessa dissertação e pela amizade.

A todos os funcionários do CPGf em especial a Benildes e Lucibela por terem me ajudado a solucionar problemas e principalmente pela amizade a mim dedicada. Aos funcionários do IG, Suelen e Nielsen minha eterna gratidão.

"O grande segredo é saber quando e qual porta deve ser aberta. A vida não é rigorosa, ela propicia erros e acertos. Os erros podem ser transformados em acertos quando com eles se aprende. Não existe a segurança do acerto eterno".

Içami Tiba

#### **RESUMO**

A utilização dos métodos de reflexão sísmica na exploração e desenvolvimento de reservatórios de hidrocarbonetos ocorre devido à sua vasta e densa amostragem, tanto em área quanto em profundidade, aliada ao refinamento de técnicas para o tratamento dos dados de reflexão sísmica, a partir destes dados, são geradas seções sísmicas, que após a aplicação de tratamento adequado, são utilizadas na interpretação dos estratos e/ou estruturas geológicas da subsuperfície. Neste trabalho é feita uma análise Geofísica Geológica de duas linhas sísmicas reais 2D marinhas da porção de quebra de talude da Bacia do Jequitinhonha. Para tanto, foi realizado um conjunto de processamento sísmico com objetivo de atenuar as reflexões múltiplas comuns em dados marinhos, além disso, foram estimados os modelos de velocidade em profundidade, utilizados para determinação das seções sísmicas migradas em profundidade. Nestas foram identificadas as superfícies refletoras. Através da análise dessas superfícies foram feitas as marcações de sismofácies, com base nos conceitos iniciais da sismoestratigrafia, com a finalidade de avaliar a qualidade do produto derivado do processamento sísmico, empregado neste estudo, para uma interpretação sismoestratigráfica, a qual está fundamentada na análise dos padrões de terminações dos refletores e padrão interno das sismofácies.

Palavras-chave: Método de reflexão sísmica. Processamento Sísmico. Sismoestratigrafia. Bacia do Jequitinhonha.

#### ABSTRACT

The seismic reflection methods use at the exploration and development hydrocarbon reservoirs is due to its vast and dense sampling in both area and depth, combined with techniques refinement to processing seismic reflection data, from these data, are generated seismic sections, which after applying appropriate treatment, are used in the interpretation of the strata and / or the subsurface geologic structures. At this paper have made one Geophysics Geological analysis at two real marine seismic lines 2D of break portion embankment Jequitinhonha Basin. Therefore, we performed a set of seismic processing in order to mitigate the multiple reflections common marine data, moreover, were estimated velocity models in depth, used to determine the depth migrated seismic sections. At these were identified reflective surfaces. Through analysis at these surfaces markings of sismofacies. have made based on the initial concepts seismic stratigraphy in order to evaluate the product quality derived from the seismic processing used at this study for seismic stratigraphic interpretation, which is based on the analysis termination patterns of reflectors and internal standard of sismofacies.

Keywords: Seismic reflection method. Seismic Processing. Seismic stratigraphy. Jequitinhonha Basin.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Mapa simplificado com a localização das bacias sedimentares brasileiras, em
destaque (retângulo vermelho), a Bacia do Jequitinhonha
Figura 2.2 - Seção Geológica da esquemática da Bacia do Jequitinhonha20
Figura 2.3 - Carta estratigráfica da Bacia de Jequitinhonha23
Figura 3.1 - Os padrões de terminações de refletores sísmicos podem ocorrer no limite
superior (A) e inferior (B) de uma sequência sísmica
Figura 3.2 - Configuração dos padrões de terminações dos refletores (estratos) e as respectivas
terminologias propostas por Mitchum (1977), acrescidas do padrão de
terminação offlap
Figura 3.3 - Padrões internos de configurações de sismofácies: (A) paralelas; (B) divergente;
(C) progradantes, (D) caótico, (E) transparente (free) e (F) hummock32
Figura 3.4 - Configuração das geometrias dos conjuntos de terminações dos refletores, que
determinam os elementos arquiteturais e possibilita identificar os sistemas
deposicionais
Figura 4.1 - Mapa de localização das linhas sísmica de reflexão 0214-0266 (linha vermelha) e
0214-0297 (linha azul)
Figura 4.2 - Aquisição sísmica com o arraste de cabo marinho (Mariner Tower Streamer)36
Figura 4.3 - Linha 0214-0266 com edição, organizado em afastamento mínimo. É possível
verificar na porção mais profunda (entre os CMPs 1450 a 3150) as múltiplas de
superfície livre de primeira ordem (setas em vermelho) bastante acentuada e
múltipla de segunda ordem, mais fracas (setas em laranja)
Figura 4.4 - Linha 014-0297 com edição, organizado em afastamento mínimo. É possível
verificar na porção mais profunda (entre os CMPs 150 a 1500) as múltiplas de
superfície livre de primeira ordem (setas em vermelho) bastante acentuada e
múltipla de segunda ordem, mais fracas (setas em laranja)
Figura 5.1 - Fluxo com as etapas do primeiro conjunto de processamentos aplicado as duas
linhas sísmicas, com objetivo de atenuar as múltiplas de superfície livre. Foi
aplicada a combinação de metodologias do SRME + filtragem Radon +
Deconvolução no domínio τ-p41
Figura 5.2 - Esquema mostrando um meio formado por N camadas planas horizontais, onde as
ondas se propagam com variação de tempo e velocidades nas diversas
camadas42

- Figura 6.2 Seção sísmica não interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0297......50
- Figura 6.3 Seção sísmica interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0266......54
- Figura 6.4 Seção sísmica interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0297......55

# LISTA DE TABELA

Tabela 3.1 - Estágios de interpretação de seções sísmicas estabelecido pela Escola Exxo	n28
Tabela 3.2 - Características dos padrões de reflexões.	30
Tabela 4.1 - Parâmetros da geometria de aquisição das linhas 0214-0266 e 0214-0297, c	btidos
através do Relatório de Campo	37

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	EVOLUÇÃO DAS BACIAS MARGINAIS BRASILEIRAS	16
2.1.	A BACIA DO JEQUITINHONHA	19
2.1.	1. Contexto Tectônico da Bacia	20
2.1.	2. Estratigrafia da Bacia	22
2.1.	3. Características do Sistema Petrolífero da Bacia	25
3.	ESTRATIGRAFIA SÍSMICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES	27
4.	OS DADOS SÍSMICOS	35
4.1.	GEOMETRIA DE AQUISIÇÃO	36
5.	PROCESSAMENTO SÍSMICO	40
6.	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	48
6.1.	SEÇÃO SÍSMICA 0214-0266	51
6.2.	SEÇÃO SÍSMICA 0214-0297	52
7.	CONCLUSÃO	56
REI	FERÊNCIAS	58

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com uma das maiores extensões de margem continental do mundo, englobando diversos segmentos com bacias sedimentares com características geológicas distintas e diferentes graus de conhecimento do potencial exploratório (MOHRIAK, 2003).

O estudo das bacias sedimentares da margem passiva da placa sul-americana, relacionando sua evolução tectônica com estágios de subsidência, rifte e subsidência termal, cada qual com diferentes sequências estratigráficas é de importância fundamental para a avaliação do potencial exploratório na pesquisa de hidrocarbonetos. À medida que a busca de novas reservas petrolíferas avança para a região de águas profundas, novos conceitos geológicos são incorporados ao acervo de dados geológicos e geofísicos, interpretados por exploracionistas e geocientistas (MOHRIAK, op.cit.).

Neste contexto, a intensa utilização da sísmica de reflexão na exploração e desenvolvimento de reservatórios de hidrocarbonetos deve-se à sua larga e densa amostragem, tanto em área quanto em profundidade, aliada ao contínuo refinamento de técnicas de tratamento e interpretação dos dados sísmicos. O desenvolvimento de tecnologias nas áreas de aquisição, processamento e interpretação dos dados sísmicos, agrupado ao estudo das relações entre propriedades sísmicas, propriedades petrofísicas e condições ambientais, tornaram esta técnica indiscutivelmente uma das mais eficácias ferramentas de exploração e caracterização de reservatórios de petróleo.

De acordo com Fleck et al., (2003), a visualização de dados sísmicos é uma importante ferramenta na pesquisa de reservatórios de hidrocarbonetos e a expressão "dado sísmico" é utilizada para definir um conjunto de informações oriundas do interior da terra através de sensores que são sensíveis às vibrações elásticas de partículas da subsuperfície, ou variações de pressão nas partículas da superfície d'água, quando estimuladas por ondas sísmicas específicas e geradas para as pesquisas de hidrocarbonetos, o que inclui a diminuição da interferência de ruídos e a seleção de sinais identificados espacialmente por coordenadas tridimensionais.

Este trabalho tem por objetivo fazer uma análise Geofísica Geológica de duas linhas sísmicas 2D marinhas reais da porção de quebra de talude na Bacia do Jequitinhonha. Para tanto, foi realizado o processamento sísmico dessas linhas com objetivo de eliminar as múltiplas de superfície, comuns nesses tipos de dados. Seções migradas em profundidade foram geradas e posteriormente foi realizada a interpretação dessas seções.

No processamento sísmico foi utilizado o *software* de processamento ProMax, versão 2003.19.1 da Landmark Graphics Corporation. A eliminação de múltiplas de superfície seguiu o fluxo desenvolvido em Oliveira (2011), enquanto as seções migradas em profundidade foram obtidas utilizando a metodologia de conversão tempo-profundidade apresentada por Cameron et al. (2007), de acordo com o fluxo de processamento desenvolvido por Oliveira (2013).

O trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: O primeiro capítulo contempla os aspectos introdutórios que foram desenvolvidos ao longo do estudo, bem como os objetivos que dirimiram esta dissertação. No segundo capítulo é apresentado um resumo sobre a evolução das bacias marginais brasileiras, é dado enfoque a Bacia do Jequitinhonha, seu contexto tectônico e estratigráfico e as características do sistema petrolífero. No terceiro capítulo é apresentado um resumo sobre conceitos e aplicações da estratigrafia sísmica. No quarto capítulo são apresentados os dados sísmicos da Bacia do Jequitinhonha. O tratamento aplicado aos dados sísmicos é apresentado no quinto capítulo. A interpretação e análise dos resultados são apresentadas no sexto capítulo. No último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho.

#### 2. EVOLUÇÃO DAS BACIAS MARGINAIS BRASILEIRAS

A proposta de evolução da margem leste brasileira mais aceita estabelece que a mesma evoluiu segundo quatro grandes estágios: pré-rifte, rifte, marinho restrito e marinho aberto (ASMUS ; PONTE, 1973). As clássicas sequências "do continente, do lago, do golfo e do mar" daqueles autores mostram, respectivamente, cada um dos estágios tectônicos acima mencionados e aparecem, embora não onipresentes, no registro estratigráfico das bacias da margem leste.

De acordo Mizusaki (2004) os eventos tectônicas que afetou o Supercontinente Gondwana no início dos eventos, culminaram com a sua quebra e separação continental. Durante essa etapa inúmeras reativações tectônicas do embasamento reabriram falhas e fraturas que serviram de conduto para o magmatismo de caráter predominantemente básico toleítico. A fase que se seguiu representou o rifteamento propriamente dito e todo o magmatismo que caracteriza a quebra continental e a consequente aproximação da astenosfera na superfície terrestre. A última fase do magmatismo encontrou a Placa Sul-Americana em processo de deslocamento para oeste e consequente separação da Placa Africana. Foi nesse período que predominaram os magmatismos de caráter alcalino e básico/alcalino.

Segundo Küchle et al. (2005) as bacias da margem Leste brasileira possuem uma evolução geológica caracterizada por três fases geotectônicas distintas: uma fase inicial prérifte, onde predomina um estilo de sinéclise intracontinental no período Neojurássico a Eocretáceo; uma fase rifte, onde o regime distensivo é intenso, até a quebra do Gondwana (Neocomiano a Aptiano, Rio da Serra a Alagoas).

A fase rifte é correlacionada ao longo de praticamente toda a margem brasileira e riftes interiores, utilizando os andares Rio da Serra (145 – 135 Ma), Aratu (128 – 135 Ma), Buracica (126 – 128 Ma), Jiquiá (123 – 126 Ma) e Alagoas (111 – 123 Ma) como intervalos estratigráficos da evolução do sistema de riftes que geraram a abertura do Oceano Atlântico.

A primeira fase é marcada pelo início de processos extensionais, que subsequentemente levaram à separação entre os continentes sul-americano e africano. O modelo conceitual para esta fase admite um pequeno soerguimento astenosférico e um afinamento litosférico regionalmente distribuído, com falhas incipientes na crosta superior controlando depocentros locais associados a uma deposição sedimentar ampla e pouca espessa (MOHRIAK, 2003).

O pacote pré-rifte, posicionado no intervalo neojurássico-eocretáceo, ocorre na Bacia de Sergipe-Alagoas (formações Candeeiro, Bananeiras e Serraria) e, para sul, é reconhecido até a região de Cumuruxatiba (formações Monte Pascoal e Porto Seguro). O pacote pré-rifte é

representado por sedimentos avermelhados, depositados em ambientes fluvial, eólico e lacustre muito raso (MILANI et al., 2007).

A fase seguinte, que é caracterizada por um aumento do estiramento litosférico, coincide com extrusão de lavas basálticas (MIZUSAKI et al. 2002), logo seguida por grandes falhas afetando a crosta continental e resultando na formação de semi-grábens, que são preenchidos por sedimentos continentais lacustrinos (Neocomiano–Barremiano). Ao final do episódio de rifteamento, há um novo aumento da extensão litosférica, que é marcado por grandes falhas que rotacionam os blocos de rifte, sendo então cobertos por sedimentos menos rotacionados (MOHRIAK, 2003).

Na fase rifit é abundante a presença de rochas ígneas básicas neocomianas sinrifte nas bacias mais meridionais, entre Pelotas e o Espírito Santo. Os lagos do rifte acomodaram uma seção de folhelhos que são importantes como rochas geradoras de hidrocarbonetos, entre os quais se incluem os do Grupo Lagoa Feia, na Bacia de Campos, e Formação Barra de Itiúba, em Sergipe-Alagoas (MILANI et al., op.cit.).

O centro da abertura meso-Atlântico, responsável pela inserção de crosta oceânica, provavelmente intrude a crosta ao final dos episódios de rifteamento, e, em algumas bacias, as primeiras manifestações de espalhamento oceânico estão associadas a vulcanismo sub-aéreo, responsável pela formação de espessas cunhas de refletores mergulhantes para o mar (*seaward-dipping reflectors* – SDR), conforme observado em linhas sísmicas regionais (HINZ, 1981; MUTTER et al. 1982; MUTTER, 1985; MOHRIAK et al. 1995a).

Esta fase é também associada com episódios de magmatismo continental e oceânico, reativação de grandes falhas e erosão de blocos de rifte por uma discordância regional que arrasa a topografia anterior e separa ambientes de deposição tipicamente continental (lacustrino e fluvial) de ambientes transicionais e marinhos (MOHRIAK, op. cit.).

O Andar Alagoas da margem leste abarca a seção marinha restrita, bem caracterizada pelo pacote de evaporitos (principalmente halita e anidrita), muito importante em espessura e área de ocorrência nas bacias de Santos (Formação Ariri), de Campos (Formação Retiro, Grupo Lagoa Feia) e do Espírito Santo (Membro Itaúnas, Formação Mariricu). A bacia evaporítica da margem leste prolongava-se até a região de Sergipe-Alagoas (Membro Ibura da Formação Muribeca), e com extensão provável até Pernambuco-Paraíba, cuja assinatura característica nos dados sísmicos sugere a presença de horizontes evaporíticos (MILANI et al. op.cit.).

Assim, a discordância teria sido o resultado da abrupta entrada do mar nas bacias marginais, o que ocasionou a passagem de um ambiente nerítico, relativamente raso, para ambiente de profundidades abissais. Isso provocou o afogamento das plataformas carbonáticas e a subsequente sedimentação das sequências marinhas profundas por sobre essas plataformas (THOMAS et. al., 2008).

Sobre a discordância regional angular e abaixo de sedimentos da sequência transicional evaporítica, algumas bacias registram uma espessura significativa de sedimentos aptianos, pouco afetados por falhas, que constituem uma sequência sedimentar do estágio final de rifte (*sag basin*) e que localmente podem dar origem a rochas geradoras de hidrocarbonetos (HENRY; BRUMBAUGH, 1995).

Essa sequência é coberta por sedimentos evaporíticos no Aptiano Superior, e subsequentemente, a sedimentação torna-se predominantemente carbonática, com o período Albiano dominado por plataformas de águas rasas. Neste contexto, foram depositados os carbonatos das formações Portobelo (Bacia de Pelotas), Guarujá (Bacia de Santos), Regência (Bacias do Espírito Santo, Jequitinhonha e Cumuruxatiba), Algodões (Bacia de Camamu-Almada), Riachuelo (Bacia de Sergipe-Alagoas) e Estiva (Bacia de Pernambuco-Paraíba), além daqueles do Grupo Macaé (Bacia de Campos) (MILANI et al., op.cit.).

Ao fim desse intervalo, adentrando no Cenomaniano e Turoniano, ocorre um aumento de paleobatimetria, terminando a deposição carbonática e resultando na acumulação de sedimentos marinhos de águas profundas (MOHRIAK, 2003). Acima dos carbonatos, ocorre espessa seção de sedimentos siliciclásticos, dominantemente folhelhos e arenitos, estes de naturezas variadas (de plataforma rasa, de leques costeiros e turbiditos de talude e bacia), compondo em seu conjunto um grande ciclo transgressivo-regressivo entre o Neocretáceo e o Recente (MILANI et al., op.cit.).

Ao final do Cretáceo a margem sudeste é afetada por maciço aporte sedimentar relacionado ao soerguimento da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, resultando em notável progradação de siliciclásticos, formando grandes cunhas sedimentares que avançam na direção da quebra de plataforma e forçando uma regressão marinha. Esses episódios são também associados a reativações de falhas do embasamento e a episódios magmáticos (CAINELLI; MOHRIAK, 1998).

A Bacia do Jequitinhonha, área alvo desta dissertação, no contexto de formação das bacias marginais brasileiras corresponde a uma bacia do tipo rifte terrestre-marítima, sendo que a maior parte de sua área ocorre em região marítima, com características estruturais-sedimentares que a distingue das demais bacias das bordas leste e sudeste brasileira.

Atividades vulcânicas e tectônicas, ocorridas ao longo do período de fragmentação do Gondwana, foram responsáveis pela evolução e formação de diversas feições desta bacia (ANP, 2002).

#### 2.1. A BACIA DO JEQUITINHONHA

A Bacia de Jequitinhonha está situada na costa sul do estado da Bahia, na região correspondente à foz do rio homônimo (Figura 2.1) entre os paralelos 14o 37' Sul e 16o 24' Sul, na costa leste do Brasil, possui uma área de 25.685 km2 até a cota batimétrica de 3.500m (CAIXETA et al., 2008).

A norte limita-se pelo Alto de Olivença, que a separa da Bacia de Almada (SANTOS et al.,1994), ao sul limita-se com a Bacia de Cumuruxatiba pelo Banco Vulcânico de Royal Charlotte e sua projeção para o continente (VIEIRA et al., 1994). A parte emersa da bacia perfaz 5.535 km<sup>2</sup>, cerca de 20% da área total da bacia (MOHRIAK, 2003).



Figura 2.1 - Mapa simplificado com a localização das bacias sedimentares brasileiras, em destaque (retângulo vermelho), a Bacia do Jequitinhonha.

Fonte: (MILANI et al., 2007).

#### 2.1.1. Contexto Tectônico da Bacia

A evolução tectono-estratigráfica das bacias sedimentares da margem leste–sudeste, em especial, a Bacia do Jequitinhonha situada em segmento divergente, bem como da margem equatorial que representa um segmento transformante, está relacionada à ruptura do Gondwana, que levou a abertura e desenvolvimento do Oceano Atlântico Sul, iniciada no Mesozóico. Este evento iniciou-se nos extremos norte e sul da América do Sul e envolveu a produção de sistemas de riftes associados à separação entre as placas Sul-Americana e Africana, (MOHRIAK, 2003).

O rifteamento da margem é diácrono, com idades variando entre Jurássico e Neocomiano nas extremidades meridional e setentrional da América do Sul e atingindo idades bem mais novas (Aptiano–Albiano) na extremidade leste da margem equatorial, entre Pernambuco–Paraíba e Sergipe–Alagoas (MOHRIAK, op.cit). Durante o processo de rifteamento, a Bacia do Jequitinhonha evoluiu para uma típica bacia de margem passiva (Figura 2.2), diferente das bacias limítrofes. Sedimentos mais antigos (Berriasiana, Valanginiana, Hauteriviana e Barremiana), comuns nas bacias marítimas vizinhas, ainda não foram datados, apesar de apresentarem o registro de ostracodes e palinomorfos. Falhamentos identificados em imagens sísmicas e também descritos em afloramentos e identificados em dados de poços sugerem a presença de um rifte mais antigo, porém nunca foram amostrados e, portanto, a sua idade ainda continua indeterminada (CHAGAS, 2003).



Figura 2.2 - Seção Geológica da esquemática da Bacia do Jequitinhonha.

Fonte: (ANP, 2009).

Durante a evolução da Bacia do Jequitinhonha, após o rifteamento e com a ingressão marinha inicial, consequência do estiramento crustal, implantou-se a sedimentação de margem passiva Albo-Cenomaniana, com predomínio de fácies terrígena e carbonática de ambiente parálico e nerítico, além de folhelhos negros e margas do Grupo Barra Nova, formações São Mateus e Regência (Turoniano e Coniaciano) em contexto bacinal nerítico a abissal (CHAGAS, 2003).

Nessa fase, a bacia experimentou resfriamento térmico e começou a bascular suavemente para leste, deflagrando os processos de movimentações adiastróficas dos evaporitos para as porções mais elevadas, formando pequenas almofadas. Além disso, os sedimentos da seção clástica e carbonática, sobrepostos aos evaporitos, aportaram para a bacia proveniente dos altos adjacentes do embasamento (margem oeste), ou aí se desenvolveram em plataforma carbonática estreita (5 a 10 km), mais espessos nessas porções proximais (CHAGAS, 2003).

Do ponto de vista estrutural, a porção norte da bacia distingue-se da porção sul pela presença de um patamar no embasamento, na região da plataforma continental rasa (MOHRIAK, 2003). A evolução da Bacia do Jequitinhonha é caracterizada por três megassequências (SANTOS et al., 1994): (a) megassequência Sinrifte, com sedimentação iniciada no Eoaptiano, cuja seção é mais espessa na parte terrestre e na porção marítima sul, sendo caracterizada pelo Membro Mucuri (Formação Mariricu); (b) megassequência Transicional, cujo evaporitos Neoaptianos do Membro Itaúnas (Formação Mariricu) correspondem ao registro do início de uma ingressão marinha; (c) megassequência Pós-rifte, formada durante a fase de deriva continental (Drifte), caracterizada por sedimentação marinha de caráter transgressiva, durante uma fase de subsidência termal da bacia; após este momento, começa uma fase de sedimentação em condições marinho-regressiva (MOHRIAK, op.cit).

Os evaporitos foram intensamente deformados logo após o início de sua deposição e essa deformação continuou de forma intensa até os dias atuais; esta intensa movimentação de sal propiciou o escorregamento de grandes blocos sobrejacentes de arenitos e calcários do Albiano, criando grandes baixos estruturais, inclusive a Fossa de Jequitinhonha (GARCIA, 1999).

Na parte média e distal desta bacia, domos proeminentes de sal foram os principais controladores na formação das bacias interdômicas, onde feições compressivas geradas pela movimentação do sal propiciaram localmente o soerguimento de rochas sedimentares paleógenas, neógenas e do Cretáceo Superior (RANGEL et al., 2007). No extremo norte da Bacia de Jequitinhonha, divisa com a Bacia de Almada, localmente ocorrem níveis de halita mais antigos do que os depositados regionalmente não só na Bacia do Jequitinhonha, como também em outras bacias do leste e sudeste da margem brasileira. No extremo norte da Bacia de Jequitinhonha, divisa com a Bacia de Almada, localmente ocorrem níveis de halita mais antigos do que os depositados regionalmente não só nessa bacia como em outras bacias do leste e sudeste da margem brasileira.

Os sedimentos clásticos e carbonáticos também exerceram sobrecarga sobre os sais fazendo-os fluir em altos estruturais da fase rifte-termais já existentes, acompanhando o mergulho regional. Entretanto, as movimentações das camadas de evaporitos, bem como as falhas delas consequentes, formavam calhas nas depressões dos blocos abatidos, com tamanhos proporcionais ao volume de evaporitos evadidos. Nestas calhas, acumularam-se sucessões sedimentares terrígenas, distribuídas ao longo do litoral na forma de cordões norte-sul, com espessuras pouco expressivas (CHAGAS, 2003).

Córdoba (1990), com base no comportamento das falhas normais, dividiu a bacia em dois compartimentos tectônicos informais: norte e sul. No compartimento sul, apresenta falha de borda com grande rejeito, uma feição característica dessa região. No compartimento norte, esta mesma falha delimita uma sequência de blocos escalonados com mergulho geral para leste (CÓRDOBA, 1990).

A arquitetura tectono-estratigráfica do rifte Aptiano/Eoalbiano, mais novo e amplo, é semelhante à de uma bacia apenas estirada. Esse padrão pode ser um reflexo de um aporte incomum de calor, que teve início durante o Barremiano, causado pela domação, cujas rochas vulcânicas só extrudiram, na vizinhança sul da bacia, durante o Paleoceno e o Eoceno. O Complexo de Royal Charlotte é o testemunho desse evento; após soerguimento térmico delineou-se, durante o Aptiano e o Eoalbiano, as falhas extensionais que, com o arrefecimento posterior, formaram um sistema de riftes encravados numa larga depressão. Estes riftes foram preenchidos, principalmente, por sedimentos terrígenos areno-argilosos em contexto flúvio-lacustre, intercalados no topo com evaporitos, típicos de uma bacia rasa, que acumulou espessa camada de sedimentos simultaneamente à criação dos espaços baciais, colmatados por uma coluna sedimentar cuja espessura total é superior a 3,5 km. (CHAGAS, op.cit).

#### 2.1.2. Estratigrafia da Bacia

A coluna estratigráfica da Bacia do Jequitinhonha (Figura 2.3) está dividida em três grandes supersequências relacionadas aos estágios Rifte, Pós-Rifte e Drifte (RANGEL et al., 2007). Os termos rifte, pós-rifte e drifte são considerados por Milani et al. (2007) com um

significado não apenas temporal, mas também com uma vinculação genética ao processo de evolução das bacias da margem continental, e à seção sedimentar/magmática correspondente.



Figura 2.3 - Carta estratigráfica da Bacia de Jequitinhonha.

O estágio inicial de sedimentação, que ocorreu durante a fase Rifte, é representado pelos sedimentos do Grupo Nativo, constituído pelas formações Cricaré e Mariricu (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al., 2007). Segundo Rangel et al. (2007), a Formação Cricaré é composta pelos membros Jaguaré e Sernambi. O Membro Jaguaré, unidade basal que apresenta maiores espessuras nas porções terrestre e marítima sul (RANGEL et al., 2007),

Fonte: (RANGEL et al., 2007).

consiste em arenitos intercalados com delgados níveis de folhelhos depositados em ambiente fluvio-lacustre durante o Barremiano, correspondendo aos andares Aratu (intervalo final) e Buracica (SANTOS et al., 1994). O Membro Sernambi, que consiste na unidade superior, compreende coquinas e folhelhos depositados em ambiente continental fluvio-lacustre desde o final do Barremiano até o início do Aptiano (RANGEL et al., 2007).

As primeiras incursões marinhas, que delinearam a passagem do ambiente continental da fase Rifte para o ambiente marinho aberto da fase Drifte, correspondem à deposição dos sedimentos da Formação Mariricu (de idade Aptiano), unidade superior do Grupo Nativo (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al., 2007), onde estão reunidos os membros Mucuri e Itaúnas (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al., 2007). O Membro Mucuri é composto arenitos e folhelhos depositados em ambiente lagunar durante o Mesoaptiano (relacionada ao Andar Alagoas), conforme Rangel et al., (2007). Esta sucessão é sobreposta por rochas evaporíticas (halita e anidrita) que compõem o Membro Itaúnas, depositadas em ambiente marinho restrito durante o Neoaptiano (SANTOS et al., 2007).

A fase Drifte marca a implantação da crosta oceânica e do mar aberto na bacia do Jequitinhonha, que se instalou a partir do Albiano e propiciou as condições ambientais para a deposição de sedimentos do Grupo Barra Nova, composto pelas formações São Mateus e Regência (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al., 2007). A Formação São Mateus consiste em sedimentos siliciclásticos grossos (principalmente arenitos), depositados em ambiente de leques deltaicos nas porções proximais da bacia durante o Albiano-Cenomaniano (Santos et al., 1994; Rangel et al., 2007). Já nas porções distais, foram depositados sincronicamente os sedimentos da Formação Regência (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al., 2007), constituída por rochas carbonáticas, margas, calcissiltitos, calcilutitos e folhelhos de ambiente marinho nerítico (RANGEL et al., 2007).

A partir do Turoniano (RANGEL et al., 2007), a bacia registra a condição de mar profundo, de caráter transgressivo, enquanto que no início do Paleógeno passou a vigorar a condição marinha regressiva. Neste cenário é que foram depositados os sedimentos que constituem o Grupo Espírito Santo, que compreende as formações Urucutuca, Caravelas e Rio Doce (SANTOS et. al., 1994). A Formação Urucutuca é constituída por folhelhos, margas, calcarenitos e arenitos turbidíticos, depositados em ambiente marinho profundo (talude) inicialmente transgressivo (Turoniano-Maastrichtiano) e que gradou para marinho regressivo (Maastrichtiano-Pleistoceno), conforme Rangel et al. (2007). Rochas vulcânicas básicas intrusivas geradas em pulsos magmáticos ocorridos no intervalo Neopaleoceo-Mesoeoceno (SANTOS et al., 1994). Ainda em condição marinha regressiva, ocorreu a deposição da Formação Caravelas, que compreende rochas carbonáticas plataformais de idade Ypresiano-Pleistoceno (RANGEL et al. 2007). Já a Formação Rio Doce, última unidade do Grupo Espírito Santo, é constituída por arenitos grossos característicos de leques costeiros em um sistema regressivo, gerados no intervalo Mesoeoceno (Lutetiano) a Pleistoceno (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al., 2007).

A partir do intervalo Neomioceno (Tortoniano) até o Plioceno, na parte emersa da bacia ocorre à deposição de sedimentos siliciclásticos grossos que estão reunidos na Formação Barreiras (SANTOS et al., 1994; RANGEL et al. 2007), sendo atribuída como fonte principal do suprimento sedimentar, para esta porção da Formação Barreiras, o proto-rio Jequitinhonha (RANGEL et al., 2007).

A sedimentação recente desta bacia na porção emersa compreende os sedimentos siliciclásticos arenosos e argilosos fluviais-aluviais, relacionados aos rios Jequitinhonha e Pardo, e sedimentos arenosos associados aos cordões litorâneos ao longo da costa; enquanto que na porção submersa ocorrem os sedimentos argilosos englobados na Formação Urucutuca (RANGEL et al., 2007).

#### 2.1.3. Características do Sistema Petrolífero da Bacia

A definição de um sistema petrolífero em uma bacia sedimentar trata da relação genética entre uma determinada rocha geradora e as acumulações de óleo e gás dela resultantes (MAGOON, 1994). Este termo engloba ainda todos os elementos essenciais e processos necessários para a existência de um sistema petrolífero, que consistem em rocha geradora, reservatório e selante, assim como sobrecarga sedimentar e o trapa, incluem a formação do trapa e a geração, migração e acumulação do petróleo (MAGOON, 1994).

Sistema petrolífero é o fundamento para a investigação dos elementos essenciais e processos que permitem a formação de uma acumulação petrolífera, sendo capaz também de caracterizar e predizer novas acumulações de petróleo (MAGOON & DOW, 1994). Para o entendimento dos sistemas petrolíferos, tem-se aplicado um enfoque multidisciplinar, envolvendo geoquímica, sedimentologia, geofísica e microestratigrafia (MELLO et al., 1994).

O Sistema Petrolífero Regência é o responsável, até o momento, por todas as ocorrências de hidrocarbonetos na Bacia do Jequitinhonha (DPC & ASSOC, 2000). As rochas geradoras estão contidas na Formação Regência (Albiano-Cenomaniano) e incluem os folhelhos ricos em matéria orgânica depositados em ambiente marinho carbonático anóxico. Estas rochas apresentam teores de COT (Carbono Orgânico total) variando de 2% até 5%, e um potencial gerador satisfatório com 7 mgHC/g rocha, em média (GAGLIONE et al., 1987).

Ocorre a dominância do querogênio Tipo II, mostrado pelo índice de hidrogênio de 500–600 mgHC/gCOT. Também são encontradas rochas geradoras marinhas potenciais nas Formações Mariricu (Aptiano) e Urucutuca (Cenomaniano-Turoniano), apesar destas serem pobres em matéria orgânica na região (DPC & ASSOC, 2000).

As rochas que servem de reservatórios para os óleos gerados pela Formação Regência são de idade Aptiana e compostas por depósitos fluviais siliciclásticos do Membro Mucuri (Formação Mariricu). As rochas selantes correspondem a rochas evaporíticas do Membro Itaúnas de idade Aptiana. Os trapas são essencialmente estruturais, localizados sobre um alto do embasamento onde os reservatórios estão selados pelos evaporitos (DPC & ASSOC, 2000).

A integração de dados de reflectância de vitrinita efetuada por Gaglione et al. (1987) em diversos poços da Bacia de Jequitinhonha indicou que o topo da janela de óleo varia de 1000 até 1500 metros na parte terrestre ou proximal e encontra-se acima de 3000 metros na parte oceânica distal. A partir desta análise, os folhelhos da Formação Regência são imaturos em praticamente toda a área plataformal, ficando matura somente no talude e regiões oceânicas profundas. As possíveis rotas de migração seriam através das principais falhas e de contatos diretos com as rochas carreadoras da Formação Mariricu.

#### **3. ESTRATIGRAFIA SÍSMICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES**

A estratigrafia sísmica ou sismoestratigrafia é um método estratigráfico de interpretação de dados sísmicos, o qual permite, de acordo com Ribeiro (2001), uma melhor compreensão da evolução tectono-sedimentar de uma bacia. Ela busca o entendimento das relações entre a arquitetura deposicional do preenchimento de bacias sedimentares e as oscilações eustáticas (POSAMENTIER et al., 1988).

De acordo com Neal et. al., (1993) a estratigrafia sísmica ou de sequência, ou ainda sismoestratigrafia, é baseada na interpretação de registros sísmicos e proporciona a compreensão e entendimento de processos que atuaram tanto no passado geológico ao recente. Encontra-se fundamentada no princípio de compreender a disposição geológica das rochas, das camadas sedimentares e a estruturação dos ambientes deposicionais.

O método foi implementado graças ao aperfeiçoamento de técnicas de aquisição e processamento sísmicos, o que melhorou consideravelmente a resolução dos dados, proporcionando a observação dos detalhes de feições deposicionais e estratigráficas (RIBEIRO, op. cit.).

Segundo Emery e Myers (1996), o princípio fundamental da estratigrafia sísmica é de que, dentro da resolução do método, as reflexões sísmicas acompanham o acamamento dos pacotes sedimentares, podendo ser consideradas aproximadamente como linhas temporais. Os contrastes de impedância acústica (produto entre a velocidade sísmica de um pacote e rochas e sua densidade) representado nos dados proveem de interfaces de acamamento e não de mudanças laterais de fácies, ou seja, na escala de resolução sísmica, essas mudanças não geram reflexões.

Através de registros sísmicos é possível reconstruir ambientes naturais antigos, estes ambientes são formados sob condições favoráveis para acumulação de sedimentos, afetados por agentes de transporte e deposição. De acordo com Vail et al., (1977) a interpretação sismoestratigráfica, pode ser dividida em três etapas: análise de fácies sísmicas, análise de sequências sísmicas e análise das variações relativas do nível do mar. Estes autores consideram uma sequência estratigráfica como um subdivisão de uma seção sísmica em pacotes de refletores concordantes, separados por superfícies de descontinuidades, interpretados segundo o conceito de sequência deposicional, que por sua vez foi definida como sendo uma unidade estratigráfica composta por uma sucessão de estratos geneticamente relacionados, relativamente concordantes, limitados no topo e na base por discordâncias ou por seus equivalentes concordantes.

Na moderna sismoestratigrafia, os padrões de terminação de refletores não representam somente os limites de uma sequência, na realidade tais padrões de terminação indicam superfícies que vão delimitar unidades sísmicas que, em última estância, serão interpretados como os tratos de sistemas deposicionais (RIBEIRO, 2001). O procedimento de interpretação sismoestratigráfica estabelecido pela Escola Exxon (VAIL et al., 1977), conforme apresentado em Payton (1977), é composto de sete estágios, cada um com seus objetivos específicos, conforme descrito abaixo na Tabela 3.1.

ESTAGIOS	OBJETIVOS		
1º Análise da sequência sísmica	<ul> <li>Determinar os padrões de terminação;</li> </ul>		
	<ul> <li>Identificar as descontinuidades e</li> </ul>		
	<ul> <li>Definir as sequências e os tratos sísmicos.</li> </ul>		
2º Análise da sequência em	<ul> <li>Determinar as formas dos perfis;</li> </ul>		
perfis	<ul> <li>Definir as sequências e os tratos.</li> </ul>		
3º Amarração com	<ul> <li>Ajustar profundidade x tempo;</li> </ul>		
sismogramas	• Determinar a causa da reflexão sísmica.		
4º Análise das fácies sísmicas	<ul> <li>Identificar as variações dos parâmetros;</li> </ul>		
	Determinar as fácies sísmicas com a		
	geologia.		
5º Interpretação dos ambientes	• Associar as fácies sísmicas com a geologia.		
e litofácies			
6º Modelagem Sísmica	Gerar seções sísmicas a partir da geologia;		
	<ul> <li>Simular os padrões de reflexões.</li> </ul>		
7º Interpretação final	• Atentar para os objetivos e considerar os		
	dados disponíveis.		

Tabela 3.1 - Estágios de interpretação de seções sísmicas estabelecido pela Escola Exxon.

Fonte: (MITCHUM et al., 1977).

Segundo Ribeiro (2001), um dos pressupostos é que as reflexões sísmicas são produzidas, principalmente, se existir impedância acústica, por superfícies físicas que apresentam um caráter temporal geologicamente importante, isto é, com conotação cronoestratigráfica.

De acordo com Della Fávera (2001) as reflexões sísmicas são produzidas primariamente por planos de estratificação e descontinuidades, tais como discordâncias e

superfícies de *downlap*, desde que apresentem suficientes contrastes de velocidade/densidade para causar reflexões sísmicas coerentes.

Um conceito chave na interpretação de sequências sísmicas é o paralelismo dos refletores às camadas e, portanto, às superfícies físicas que separam sedimentos de idades diferentes (SANGREE; WIDMIER, 1979). Este conceito é ressaltado pela tendência de sedimentos estratificados terem grande continuidade lateral litologicamente, isto não implicando que todos os estratos sejam camadas de composição uniforme; ao contrário, variações laterais são comuns dentro de uma sequência depositada em determinado intervalo geológico.

Antes de falar sobre as fácies, sequências sísmicas, e dos indicadores sismoestratigráficos de variações relativas ao nível do mar, faz-se necessário entender os principais tipos de terminação de reflexões mais comumente utilizados nas interpretações sismoestratigráficas. De acordo com Vail et al. (1977) são eles: *lapout* (que inclui o *toplap* e o *baselap*), *baselap (onlap* e *downlap)*, truncamento e a concordância (ou conformidade) (Figuras 3.1 e 3.2). As características dos padrões de refletores supracitados podem ser vistas tabela 3.2.



Figura 3.1 - Os padrões de terminações de refletores sísmicos podem ocorrer no limite superior (A) e inferior (B) de uma sequência sísmica.

Fonte: (MITCHUM et al., 1977).

Tabela 3.2 - Características dos	s padrões de reflexões.
----------------------------------	-------------------------

		PADRÕES DE TERMINAÇÕES DOS REFLETORES		
L		Baselap em que um refletor/estrato termina deposicionalmente		
a	Onlap contra uma superfície inicialmente inclinada ou quando este			
p		termina deposicionalmente mergulho acima contra uma		
0		superfície de maior inclinação.		
и		Baselap em que um refletor/estrato termina mergulho abaixo		
t	Downlap	contra uma superfície originalmente horizontal ou inclinada.		
	Os refletores/estratos terminam lateralmente, diminuinde			
Toplap		gradualmente de espessura mergulho acima e ascendendo ao		
	limite superior assintoticamente.			
	Os refletores/estratos terminam lateralmente por terem sido			
Truncamento seccionadas de seu limite deposicional original, pode		seccionadas de seu limite deposicional original, podendo ser		
		erosional ou estrutural.		
	Refletores/estratos de duas unidades sísmicas ou sequências			
Concordância		adjacentes se apresentam paralelas com a superfície que as		
	delimitam.			

Fonte: (VAIL; MITCHUM JR.; SANGREE, 1977).

Figura 3.2 - Configuração dos padrões de terminações dos refletores (estratos) e as respectivas terminologias propostas por Mitchum (1977), acrescidas do padrão de terminação *offlap*.



Fonte: (CATUNEANU, 2002).

Uma sequência deposicional é uma unidade estratigráfica composta de uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados e limitados no topo e na base por discordâncias ou superfícies relativamente concordantes, que são caracterizados por um refletor de maior amplitude. As discordâncias podem ser erosivas, representadas pelo truncamento das seções num hiato erosivo, ou de não deposição quando as camadas terminam contra um limite discordantemente num hiato não deposicional.

As fáceis sísmicas, dizem respeito às características distintivas que fazem um grupo de refletores parecerem diferentes dos refletores adjacentes. Classificações são baseadas nas terminações dos refletores, características internas, padrões das camadas e formato externo das sequências. O agrupamento destes parâmetros em unidades de fácies sísmicas permite a interpretação em termos de processos sedimentares, ambientes deposicionais, fonte de sedimentos e estruturas geológicas (SANGREE; WIDMIER, 1979).

A interpretação de fácies sísmica é fundamental para obter informações sobre os processos deposicionais, erosão, paleotopografia, fonte de sedimentos, ambiente geológico. A configuração dos estratos é interpretada a partir da configuração da reflexão sísmica e se refere aos padrões geométricos e às relações dos estratos dentro de uma unidade estratigráfica (MITCHUM et al., 1977a). Segundo Ribeiro (2001) o parâmetro mais empregado para caracterizar uma sismofácies é a configuração interna dos refletores.

Mitchum et al. (1977b) apresentam alguns tipos de padrões de configurações internas tais como: paralela, divergente, progradante, caótico, transparente, *hummocky*, lenticular, segmentado e contorcido (Figura 3.3).

As configurações paralelas e subparalelas (Figura 3.3 A) indicam uma taxa de deposição uniforme dos estratos, sobre uma superfície estável ou sobre uma plataforma uniformemente subsidente. A configuração divergente (Figura 3.3 B) provavelmente indica uma variação em área na taxa de deposição e também uma inclinação progressiva do substrato ou os dois fatores juntos. Já as configurações progradantes (Figura 3.3 C) ocorrem em áreas onde os estratos superpõem-se lateralmente, constituindo-se em superfícies inclinadas denominadas clinoformas, podendo ocorrer em diferentes tipos ambientes.

As clinoformas podem ser oblíquas (paralelas e tanngenciais), sigmoidais, complexo sigmoidal-oblíquo e *shingled*. Clinoformas oblíquas (pode ser tangencial ou paralelo) é o padrão em que o ângulo de mergulho é relativamente alto, com terminações de refletores mergulho acima em *toplap* e mergulho abaixo em *downlap* 

Clinoformas sigmoidas caracterizam-se pela disposição lateral dos refletores em forma de "S", em superfícies que mergulham suavemente para águas profundas.





Fonte: (MITCHUM et al., 1977a).

O padrão de configuração complexo sigmoidal-oblíquo é uma combinação dos padrões sigmoidais e oblíquos dentro de uma única fácies sísmicas, sendo originado num ambiente deposicional de alta energia, nestes ambientes ocorrem alternância de processos construtivos (sigmoides) e *by pass*<sup>1</sup> sedimentar nos *topsets* (oblíquos).

A configuração *shingled* é um padrão de progradação de pequena espessura, com os limites superiores e inferiores paralelos, cujos refletores internos exibem suaves mergulhos terminando em *toplap* e *downlap*. Geralmente está associado a unidades deposicionais de águas rasas.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Local onde o aporte dos sedimentos é muito superior ao espaço de acomodação.

Configurações caóticas (Figura 3.3 D) consistem em refletores discordantes e descontínuos, sugerindo um arranjo desordenado das superfícies refletoras, podendo indicar um ambiente de alta energia e variável, deformações penecontemporâneas ou posteriores a deposição. Estes refletores podem evidenciar estratos com dobramento, pequenas falhas, estruturas de escorregamento ou convolutas.

O padrão de configuração transparente (*free*) são intervalos com ausência de refletores (Figura 3.3 E), podendo indicar pacotes de sedimentos intensamente redobrados ou com mergulhos muito abruptos, apresentam também litologias homogêneas para o método sísmico ou não estratificada, como exemplo alguns tipos de folhelhos, arenitos, camadas de sal ou corpos ígneos.

As configurações do tipo *hummocky* (Figura 3.3 F) apresentam os refletores descontínuos, irregulares, subparalelas, que formam um padrão ondulado segmentado com terminações não sistemáticas. Esse padrão é interpretado, como lobos de estratos interdigitados no prodelta, área interdeltaica de águas rasas ou leques turbidíticos de sopé de talude.

De acordo com Brown e Fischer (1980), a configuração tridimensional e a expressão em área são características importantes das fácies sísmicas. A figura 3.4 mostra algumas geometrias de fácies sísmicas. As geometrias em lençol (*sheet*), cunhas (*wedge*) e bancos (*bank*) caracterizam ambientes plataformais (MITCHUM et al., 1977a).

As geometrias em lentes (*lens*) associam-se a várias fácies sísmicas, contudo é comum nas clinoformas progradantes (RIBEIRO, 2001). Já as Montiformas (*mounds*) caracterizam feições deposicinais mais elevadas topograficamente em relação às camadas adjacentes, podem resultado de processos sedimentares, vulcânicos ou biogênicos (leques de águas profundas, lobos deposicionais de escorregamento associado à turbiditos).



Figura 3.4 - Configuração das geometrias dos conjuntos de terminações dos refletores, que determinam os elementos arquiteturais e possibilita identificar os sistemas deposicionais.

Fonte: Adaptado de MITCHUM et al. (1977b).

#### 4. OS DADOS SÍSMICOS

Neste capítulo será apresentado informações a respeito dos dados reais 2D da Bacia do Jequitinhonha que foram utilizados neste trabalho.

Os dados consistem de duas linhas 2D do tipo  $dip^2$  (que se cruzam) denominadas 0214-0266 e 0214-0297 da campanha exploratória realizada no ano de 1985 na parte marinha, área de quebra da plataforma continental e início de quebra de talude da Bacia do Jequitinhonha, entre as Bacias sedimentares de Almada e Cumuruxatiba (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Mapa de localização das linhas sísmica de reflexão 0214-0266 (linha vermelha) e 0214-0297 (linha azul).



Fonte: Modificado de ANP (2012).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Linha que são perpendiculares à região de quebra do talude.

#### 4.1. GEOMETRIA DE AQUISIÇÃO

Os dados foram adquiridos em levantamento sísmico 2D denominado de arrasto de cabo marinho (*Mariner Tower Streamer*). Neste tipo de levantamento (Figura 4.2) um navio reboca as fontes que disparam canhões de ar comprimido (*air-gun*) e os cabos (*streamer*) que contém os receptores (hidrofones). O conjunto fontes e cabo ficam imersos na água a uma profundidade que varia entre 5 a 12 metros.

A fonte de energia (*air-gun*) ao ser acionada, gera as ondas acústicas que deve ter potência suficiente para gerar um sinal que, depois de se propagam em subsuperfície, possa ser registrada com amplitude superior a dos sinais ruidosos.

Os sinais refletidos são registrados nos hidrofones que são sensíveis as variações de pressão, cuja disposição é calculada para uma melhor cobertura e eliminação de ruídos naturais. A cobertura é o número de vezes que um ponto é amostrado em subsuperfície, com base na técnica CDP (*common depth point*). Esta técnica proporciona o aumento da razão sinal/ruído; a anulação de ruídos aleatórios e informação sobre a velocidade das ondas sísmicas nas rochas.



Figura 4.2 - Aquisição sísmica com o arraste de cabo marinho (Mariner Tower Streamer).

Fonte: Adaptado de IKELLE; AMUNDSEN (2005).

Nestes levantamentos são gerados os relatórios de campo, através destes, são obtidos os parâmetros da geometria de aquisição de cada linha sísmica. A linha 0214-0266 foi obtida na direção NE-SW. A aquisição foi feita da parte mais rasa para a mais profunda. Foram

realizados 1577 tiros, totalizando aproximadamente 39,4 km de linha sísmica no azimute 50N (sentido NE). A linha 0214-0297 foi obtida na direção NW-SE. A aquisição foi feita da parte mais profunda para a mais rasa. Foram realizados 2169 tiros totalizando aproximadamente 53,2 km de linha sísmica no azimute 320N (sentido NW). Os detalhes sobre a geometria estão resumidos na tabela 4.1.

LINHA SÍSMICA	0214-0266	0214-0297
Número de fontes	1577	2129
Número de receptores	120	120
Profundidade da fonte (m)	9	9
Profundidade média do cabo (m)	10,5	10,5
Intervalo entre fontes (m)	25	25
Intervalo entre receptores (m)	25	25
Afastamento máximo (m)	3125	3125
Afastamento mínimo (m)	150	150
Intervalo de amostragem (ms)	4	4
Tempo de registro (s)	7	7

Tabela 4.1 - Parâmetros da geometria de aquisição das linhas 0214-0266 e 0214-0297, obtidos através do Relatório de Campo.

Em levantamentos marinhos é comum o registro de múltiplas de superfície livre<sup>3</sup>, que são reflexões geradas devido à interface ar-água. O número de vezes que a onda sofre reflexão na interface ar-água determina a ordem da múltipla de superfície. Nas figuras 4.3 e 4.4 são apresentadas as seções sísmicas das linhas 0214-0266 e 0214-0297 respectivamente, com os dados organizados em afastamento mínimo (150m). Nas partes mais rasas em ambas as seções, cuja lâmina de água varia de 34 m até 100 m, tem-se vários tipos de múltiplas que combinam e não se distinguem das múltiplas de superfície. Na região mais profunda, com lâmina de água de até 3000 m, pode-se visualizar as múltiplas de superfície (setas vermelhas) a partir do tempo de chegada de 1000 ms. As reflexões múltiplas de superfície livre estão acentuadas, o que pode mascara refletores profundos e levar a interpretações errôneas da seção sísmica. Há necessidade de se realizar um processamento sísmico nestes dados, com o objetivo de atenuar as reflexões múltipla

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Também chamada de múltipla de superfície. É quando a onda que é refletida na subsuperfície volta a superfície, e é refletida na interface ar-água antes de ser registrada no receptor. Para mais detalhes ver Ilmaz (2001).



Figura 4.3 - Linha 0214-0266 com edição, organizado em afastamento mínimo. É possível verificar na porção mais profunda (entre os CMPs 1450 a 3150) as múltiplas de superfície livre de primeira ordem (setas em vermelho) bastante acentuada e múltipla de segunda ordem, mais fracas (setas em laranja).

Fonte: (OLIVEIRA, 2011)



Figura 4.4 - Linha 014-0297 com edição, organizado em afastamento mínimo. É possível verificar na porção mais profunda (entre os CMPs 150 a 1500) as múltiplas de superfície livre de primeira ordem (setas em vermelho) bastante acentuada e múltipla de segunda ordem, mais fracas (setas em laranja).

Fonte: (OLIVEIRA, 2011)

## 5. PROCESSAMENTO SÍSMICO

Etapa que os dados sísmicos são tratados, ruídos coerentes e incoerentes são atenuados e reflexões primárias são realçadas. O objetivo do processamento sísmico é gerar a partir dos eventos de reflexão uma "imagem" através da qual será efetuada a interpretação das estruturas geológicas da subsuperfície. Quanto melhor a imagem, isto é: livre de ruídos, artefatos e com refletores claramente observados, melhor será a interpretação. As múltiplas de superfície são um exemplo de evento que por mascarar refletores mais profundos e gerar artefatos (falsos refletores) pode induzir a interpretação ao erro. Nestes casos há a necessidade de um processamento especial com objetivo de atenuar as múltiplas de superfície.

Foram aplicados dois conjuntos de processamento as linhas 0214-0266 e 0214-0297. O primeiro conjunto com objetivo de atenuar as múltiplas de superfície livre. O fluxograma de processamento ótimo para a atenuação de múltiplas de superfície é apresentado em Oliveira (2011) (Figura 5.1), onde as múltiplas são atenuadas com a combinação do SRME<sup>4</sup> com a Filtragem Radom e Deconvolução Preditiva no domínio  $\tau$ -p. O segundo conjunto de processamento (Figura 5.2) foi executado com objetivo de gerar a seção migrada em profundidade. O fluxograma utilizado (Oliveira, 2013), foi aplicado a esse dado real onde a seção migrada em profundidade é obtida utilizando o modelo de velocidade em profundidade adquirido a partir da metodologia descrita segundo Cameron, et al. (2007).

A maior parte do processamento foi realizado no *software* ProMax. Para a conversão tempo-profundidade foi utilizado um programa em linguagem fortran desenvolvido por Valente (2007), cujos resultados são aplicados a dado sintético.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Surface Related Multiply Elimation. Método de eliminação de múltiplas de superfície baseado no diferente *moveout* entre reflexões múltiplas e reflexões primárias.

Figura 5.1 - Fluxo com as etapas do primeiro conjunto de processamentos aplicado as duas linhas sísmicas, com objetivo de atenuar as múltiplas de superfície livre. Foi aplicada a combinação de metodologias do SRME + filtragem Radon + Deconvolução no domínio  $\tau$ -p.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2011).

Ao dado inicialmente é feita a correção da geometria do levantamento de acordo com o relatório de campo e o pré-processamento, que consistiu na edição e filtragem. Com os dados editados é estimada a primeira velocidade rms<sup>5</sup>.

Considerando um meio formado por N camadas planas horizontais (Figura 5.2) a velocidade rms é dada pela relação abaixo (YILMAZ, 1997):

$$v_{ms}^{2}(t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \Delta t_{i}} \sum_{i=1}^{N} v_{i}^{2} \Delta t_{i} , \qquad (1)$$

em que:  $\Delta t_i$  é o tempo de propagação da onda em na i-ézima camada,  $v_i$  é a velocidade de propagação da onda na i-ézima camada.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Root mean square- raiz média quadrática.



Figura 5.2 - Esquema mostrando um meio formado por N camadas planas horizontais, onde as ondas se propagam com variação de tempo e velocidades nas diversas camadas.

Fonte: Da autora.

O SRME é aplicado com objetivo de modelar as múltiplas de superfície livre e subtraílas do dado. Esse método é baseado na periodicidade das múltiplas (VESHUUR, 2006).

Em seguida é aplicada a segunda técnica para atenuação de múltiplas, que é a deconvolução preditiva no domínio τ-p. Da mesma forma que o SRME essa metodologia baseia-se na periodicidade da múltipla (YILMAZ, 2001).

O próximo passo é a filtragem Radon, que é outra técnica de atenuação de múltiplas baseada na diferença de sobretempo entre múltiplas e primárias (YILMAZ, 1997). Para o mapeamento de múltiplas e primárias em regiões distintas e a aplicação da filtragem Radon, é necessário o conhecimento da velocidade em subsuperfície. Como não se tem esse conhecimento a priori, é feita a segunda análise de velocidade nos dados, agora com as múltiplas parcialmente atenuadas (após o SRME) é aplicado à filtragem Radon.

Assim as múltiplas são atenuadas com a combinação do SRME com a Deconvolução Preditiva no domínio τ-p mais a filtragem Radon (OLIVEIRA, 2011).

Por fim, é aplicada uma correção de amplitude no dado, para compensar as perdas por espalhamento geométrico (YILMAZ, 2001) e a deconvolução impulsiva com objetivo de melhorar a resolução temporal do dado.

Os dados com as múltiplas atenuadas organizados em afastamento mínimo, resultante da aplicação do primeiro fluxo (Figura 5.1), são mostrados nas figuras 5.3 e 5.4 Nestas

imagens verifica-se que há uma atenuação das múltiplas de superfície na parte mais profunda do dado. O fluxo não melhorou a porção do levantamento onde a lâmina de água é mais raso, CMPs 1-1200 na linha 0214-0266 e CMPs 2000-4350 na linha 0214-0297. Isso se deve ao fato que nessas regiões diversos tipos de múltipla se misturam tornando as metodologias de atenuação empregadas não eficazes.



Figura 5.3 - Linha 0214-0266 após processamento para atenuação de múltiplas. Verifica-se em comparação com a figura 4.3 a atenuação das múltiplas entre os CMPs 150 a 1950.

Fonte: (OLIVEIRA, 2011)



Fonte: (OLIVEIRA, 2011).

Figura 5.5 - Fluxo com as etapas do segundo conjunto de processamentos aplicado às linhas sísmicas, com objetivo de gerar uma tabela de velocidade em profundidade, utilizando essa tabela, para gerar as seções sísmicas migradas em profundidade.



Fonte: Adaptado de CAMEROM et al. (2007).

O fluxograma do segundo conjunto de processamentos (Figura 5.4) inicia com o dado resultante do primeiro conjunto de processamento, que são as múltiplas de superfície atenuadas.

Com as múltiplas atenuadas após a aplicação do SRME + Deconvolução Preditiva no domínio  $\tau$ -p + filtragem Radon, uma terceira análise de velocidade é aplicada ao dado e uma nova tabela de velocidade rms,  $v_{ms}$  (t) (em tempo) baseada nos eventos de reflexão, é estimada. Com a tabela de velocidade rms, uma imagem da subsuperfície pode ser obtida através da etapa do processamento conhecida como migração. A migração tem por objetivo corrigir a posição dos refletores; retirar artefatos que comumente são gerados nos dados empilhados com objetivo de colapsar as difrações (YILMAZ, 2001). Existem diversos tipos de migração e cada tipo é mais bem aplicado a um determinado tipo de ambiente em subsuperfície. Entre as várias classificações, as duas principias referem-se ao tipo de dado

usado: migração pós-empilhamento ou migração pré-empilhamento e ao modelo de velocidade utilizado, migração em tempo ou migração em profundidade.

A migração pós-empilhamento é aplicada ao dado após a correção NMO e empilhamento, enquanto que, a migração pré-empilhamento utiliza o dado sísmico não empilhado. Em ambientes complexos a migração pré-empilhamento apresenta melhores resultados que a migração pós-empilhamento.

A migração em tempo é obtida utilizando uma tabela de velocidade em tempo, por exemplo,  $v_{rms}$  (t), enquanto que a migração em profundidade é obtida a partir de uma tabela de velocidade em profundidade. A migração em tempo tem um custo computacional menor e é menos sensível a erros no modelo de velocidade, entretanto, esse tipo de migração não apresenta boa performance em meios geológicos complexos, quando comparado com a migração em profundidade. Este por sua vez, depende principalmente da tabela de velocidade em profundidade,  $v_{int}(z)$ .

Após a exportação da tabela de velocidade rms do ProMax, o processamento acontece fora do ProMax e consiste em: tratar (reorganizar, interpolar e suavizar) a tabela de velocidade rms,  $v_{ms}$  (t) que está em tempo, que foi estimada dos dados com as múltiplas atenuadas. Em seguida é feita a conversão tempo profundidade, obtendo-se a tabela de velocidade intervalar em profundidade,  $v_{int}(z)$ . Essa nova tabela é importada para o ProMax e é utilizada para migrar o dado livre de múltipla em profundidade. O produto final é uma seção migrada pré-empilhamento em profundidade, que será utilizada na interpretação dos refletores, apresentadas no próximo capítulo, onde será feita uma interpretação para as mesmas.

#### 6. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A partir das duas seções sísmicas migradas em profundidade, que correspondem às seguintes linhas (Figura 4.1): a) linha 0214-0266 (Figura 6.1-SEÇÃO SEM INTERPRATAÇÃO), orientada na direção SW (porção plataformal) - NE (porção de quebra de talude); b) 0214-0297 (Figura 6.2-SEÇÃO SEM INTERPRATAÇÃO), com orientação geral NW (porção plataformal) -SE (porção de quebra de talude), foi realizada a interpretação qualitativa das linhas sísmicas provenientes da Bacia do Jequitinhonha.

As análises das seções sísmicas neste estudo se ativeram ao estágio de análise das terminações das superfícies de reflexões e definição de sismofácies, com a finalidade de avaliar a qualidade do produto derivado do processamento sísmico empregado aos dados para uma interpretação sismoestratigráfica. Os padrões de terminação de reflexões não representam somente os limites de uma sequência sísmica, mas também permitiram a identificação de superfícies que auxiliaram na delimitação das sismofácies.

Analisando a boa qualidade do processamento dos dados sísmicos, foi possível a marcação dos eventos escolhidos e interpretados. Porém, há necessidade do refinamento do processamento para a melhor atenuação das de múltiplas de superfície livre.

A não disponibilização de dados de poços da referida bacia, impossibilitou a amarração da sísmica com a denominação formal das unidades litológicas presentes na região. A interpretação das seções foi puramente sismoestratigráfica.



Figura 6.1 - Seção sísmica não interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0266.

Fonte: (OLIVEIRA, 2013).



Figura 6.2 - Seção sísmica não interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0297.

Fonte: (OLIVEIRA, 2013).

# 6.1. SEÇÃO SÍSMICA 0214-0266

Nesta seção sísmica foram interpretadas as sismofácies SA1, SA2, SA3, SA4, SA5 e SA6 (Figura 6.3). A sequência sísmica basal corresponde a sismofácies SA1, caracterizada por apresentar nas porções inferiores, padrões de terminação de refletores concordantes, com truncamento, raras downlapantes e toplapantes (Figura 6.3). As configurações dos padrões internos das sismofácies são predominantemente paralelas (subparalelas a onduladas), concordantes, lenticulares, pontuais contorcidas e segmentadas, concentradas principalmente nas porções com falhamentos e na porção nordeste da seção, marcadas por fortes refletores, onde ocorre falhamentos decorrentes de intensa halocinese (ou tectônica salífera). A bacia apresenta uma das mais importantes características no que diz respeito à tectônica salífera na margem brasileira, principalmente pelos exemplos de dobramentos e cavalgamentos da seção sedimentar marinha sobre camadas e domos de sal.

A sequência SA2 é caracterizada pelos conjuntos de refletores sísmicos de superfícies onlapantes, relacionado a um ambiente de baixa energia e downlapantes, e configuração interna divergente, estando relacionada a um possível canal erosivo (Figura 6.3).

As reflexões paralelas (subparalelas) e segmentadas caracterizam a sequência SA3, associadas a superfícies predominantemente concordantes, com ocorrências restritas de superfícies onlapantes e toplapantes (Figura 6.3). As configurações paralelas são terminações indicativas de taxa de sedimentação uniforme, onde a superfície deposicional apresentou caráter estável ao longo da sedimentação. As segmentadas parecem estar relacionadas aos falhamentos que afetam esta sequência.

A sequência SA4 é também representada por configurações internas paralelas, que sugerem taxa de sedimentação uniforme e baixa subsidência ao longo da deposição dos sedimentos, e subordinadas progradantes tipo *shingled*, este padrão apresenta pequenas espessuras, com limites superiores e inferiores paralelos, que geralmente são indicativas de deposições em ambientes de águas rasas. Na porção SW há o predomínio de subparalelas e onduladas, com subordinados segmentados, enquanto que na porção NE ocorrem configurações paralelas regulares. Superfícies onlapantes ocorrem na porção média da sequência, enquanto que na extremidade final é observado um truncamento erosivo, provavelmente associado aos falhamentos que ocorre nesta porção (Figura 6.3).

A sequência SA5 compreende internamente refletores paralelos a progradantes, com subordinadas porções com padrão segmentado e lenticular. O padrão progradante é sugestivo de condição de suprimento sedimentar elevado, com baixa ou nenhuma taxa de subsidência, associada a um nível do mar estacionário e com águas rasas. Os refletores possuem superfícies concordantes, downlapantes, toplap e truncamento erosivo (Figura 6.3).

A sequência de topo corresponde a SA6, que compreende fortes refletores concordantes, ocorrendo padrões de configuração paralelos regular e subparalelos, com ocorrência pontual de padrão segmentado, que corresponde a sedimentação plataformal atual da bacia, que apresenta nesta seção caráter agradacional, ou seja, o espaço a variação do espaço de acomodação é equivalente ao aporte sedimentar, em bacias marinhas, as variações de espaço de acomodação equivalem à variações do nível relativo do mar. (Figura 6.3).

## 6.2.SEÇÃO SÍSMICA 0214-0297

Nesta seção foram interpretadas cinco sismofácies que definem, da base para o topo, as sequências SB1, SB2 e SB3 (Figura 6.4). Na região basal dessa seção há muita concentração de reflexões múltiplas, estas mascaram os refletores primários e impossibilitam a interpretação nessa área.

Um evento de transgressão marinha é representado pela sequência SB1, onde há o afogamento da plataforma continental, que pode ser causado por eventos tectônicos, como epirogêneses, alterações climáticas, como as eras glaciais ou ajustes isostáticos após a remoção do gelo ou a carga de sedimentos. Um refletor forte separa esta sequência da sequência SB3 e indica uma descontinuidade. Esta sequência apresenta configurações internas predominantemente paralelas, que indicam uma taxa de deposição dos sedimentos uniforme, sobre uma superfície estável ou uniformemente subsidente, outra configuração interna aparece subordinadamente porções com padrão segmentado, geralmente associado à falhamentos. As terminações com padrão onlapante, que consiste na deposição progressiva dos sedimentos na direção do continente. No extremo superior da sismofácie SB1 ocorre um truncamento erosivo, ocorre quando a terminação lateral se dá por efeito erosivo, pode abranger uma ampla área, normalmente o basculamento estrutural de um pacote sedimentar favorece este tipo de truncamento face à exposição subaérea ou submarina (Figura 6.4).

A sequência SB2 consiste em um canal erosivo, compreendendo sismofácies com configuração interna paralela (subparalela) e reflexões constituindo superfícies onlapantes e downlapantes, soprepostas por uma discordância erosiva, que indica que a deposição não foi contínua (Figura 6.4).

A sequência SB3 é a de topo da sucessão sedimentar, caracterizada por refletores que apresentam terminações downlapantes e sismofácies com padrão paralelo (regular a

subparalela) e progradante, estes ocorrem em superfícies onde os estratos superpõem-se lateralmente, constituído em superfícies inclinadas, pode ocorrer em diversos tipos de ambiente. Nesta sequência há ocorrência subordinada de padrões de configuração segmentado nas proximidades de falhamentos (Figura 6.4). Esta sequência está associada possivelmente, a um evento de regressão marinha, associado ao rebaixamento do nível eustático que se implantou na Bacia do Jequitinhonha, no período Eoceno, Oligoceno e Mioceno. Não foram discutidos neste trabalho os fatores que controlam a eustasia.



Figura 6.3 - Seção sísmica interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0266.

Fonte: Da autora



Contorcido

F

Figura 6.4 - Seção sísmica interpretada, resultado da migração pré-empilhamento em profundidade da linha sísmica 0214-0297.

Fonte: Da autora

#### 7. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi feita uma análise Geofísica-Geológica de dados sísmicos 2D da porção de quebra de talude na Bacia do Jequitinhonha, envolvendo o processamento sísmico com objetivo de eliminar as múltiplas de superfície, comuns nesses tipos de dados, determinação dos modelos de velocidades das seções sísmicas em profundidade da área, apropriadas para gerar as seções migradas em profundidade. As seções sísmicas processadas segundo estes procedimentos foram então utilizadas para interpretação sismioestratigráfica das seções das linhas 0214-0266 e 0214-0297.

As etapas de processamento sísmicos executado na eliminação das múltiplas de superfície, seguiram os procedimentos aplicados por Oliveira (2011), no *software* ProMax, e as seções migradas em profundidade foram obtidas segundo a metodologia de conversão tempo-profundidade apresentada por Cameron et al. (2007), que foi implementada por Valente (2007), e o fluxo de processamento está de acordo com o desenvolvido por Oliveira (2013).

Analisando a qualidade do processamento dos dados sísmicos das linhas 0214-0266 e 0214-0297, foi possível a marcação dos eventos escolhidos e interpretados. Porém, há necessidade do refinamento do processamento para a melhor atenuação das de múltiplas de superfície livre, pois ainda estão bastante concentradas nas seções, principalmente na 0214-0297, o que pode levar a interpretações errôneas, ou mascarar os refletores primários.

A interpretação foi feita com base nos estágios iniciais da interpretação sismoestratigráfica proposta por Vail e Mitchum (1977), a qual está fundamentada na análise dos padrões de terminações das reflexões, definição das fácies sísmicas e de sequências sísmica. As sismofácies interpretadas nas seções sísmicas 0214-0266 e 0214-0297 admitiu-se que as falhas possivelmente são decorrentes da tectônica salífera que afeta a área, relacionadas provavelmente as camadas de sal da Formação Mariricu.

Assim, as interpretações apresentadas neste trabalho basearam-se nos estágios iniciais da interpretação sísmoestratigráfica, conhecimento geológico apriori da região e limitou-se a marcação de sismofácies e a análise das terminações das superfícies de reflexões.

A não disponibilização de dados de poços do tipo *check-shot* com: perfis sônico, de densidade, litológico, de dados de fluidos, geoquímicos, além, de dados culturais (mapas com limites das concessões, de linha de costa, de blocos exploratórios ou explotatórios vizinhos, de estradas, etc) e dados de interpretações pré-existentes (horizontes, falhas, mapas, etc), da referida bacia, impossibilitou a amarração da sísmica com a denominação formal das unidades

litológicas presentes na região e uma interpretação mais detalhada e com um grau maior de confiança. Ressaltamos a importância para o trabalho de interpretação, além da seção migrada em profundidade da área, a necessidade de informações de poço e dados culturais para correlação dos dados interpretados com os dados geológicos do substrato que foi imageado nas linhas sísmicas, para uma interpretação mais rica em detalhe.

#### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETROLEO (ANP). Sumário geológico. Brasil Round 4, Bacia de Jequitinhonha. 2002. 48p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). *Mapas*. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round3/downloads/sg\_jequitinhonha.pdf, 2002.

ASMUS, H.E., Ponte, F.C. The Brazilian Marginal Basins. In: NAIRN, A.E.M., STEHILI, F.G. (Eds.). *The Ocean basins and margins, the South Atlantic*. Nova York: Plenum Press, 1973. v.1, p.87-133.

BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A; SICHEL, S. E. (Org.). 2004. Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil* : texto, mapas & SIG. Brasília, DF : CPRM –Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692 p.

BROWN JR., L. F.; FISHER, W. L. Seismic-stratigraphic interpretation and petroleum exploration. Austin: AAPG, 1980. 125 p. (Continuing education course note series # 16),

CAIXETA, J. M.; RANGEL, H. D.; FLORES, J. L.; NASCIMENTO, M. M., GALVÃO, M. V. G.; MACHADO, E. C. V. Tectônica de sal na Bacia de Jequitinhonha. In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C. (Org.). *Sal geologia e tectônica*: exemplos das bacias brasileiras. São Paulo: Beca, 2008. p. 272-283.

CAINELLI, C.; MOHRIAK, W.U. In: AAPG, International Conference & Exhibition Short Course – Brazilian Geology Part II, 1998, Rio de Janeiro, Brazil. Geology of Atlantic Eastern Brazilian basins, 67 p.

CAMERON, M.; FOMEL, S. B.; SETHIAN, J. A. Seismic velocity estimation from time migration. *IOP Publishing*. 23, p. 1329-1369. 2007.

CATUNEANU, O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, v. 35, n. 1, p. 1-43. 2002.

CHAGAS, L. S. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Jequitinhonha. *Phoenix*, v.5, n. 59, p.01-04, Nov. 2003. Disponível em: <a href="http://www.phoenix.org.br/Phoenix59\_">http://www.phoenix.org.br/Phoenix59\_</a>. Acesso em maio de 2012.

CÓRDOBA, V. C. *Microfácies, modelo deposicional e evolução da plataforma carbonática albo-cenomaniana da Bacia de Jequitinhonha.* 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) – UFOP, Ouro Preto, 1990.

DPC - ASSOC.). Petroleum systems of Brazil. Rio de Janeiro, 2000. (Relatório Anual).

DELLA FÁVERA, J.C. Fundamentos de Estratigrafia Moderna, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001. 63-75 p.

EMERY, D.; MYERS, K.J. Sequence stratigraphy. London: Blackwell Science, 297 p.

FLECK, E. M.; PEDREIRAI, C. E.; SANTOS, R. Agrupamento de dados sísmicos através do algoritmo de Kohonen. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 6. 2003, São Paulo. *Proceedings...* São Paulo: Centro Universitário da FEI, São Paulo - SP – Brazil. p. 445-450.

GAGLIONE, P.C.; TRINDADE, L.A.F.; NASCIMENTO, M.M. Avaliação geoquímica das bacias marginais ao Sul da Bahia, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., 1987, Porto Alegre. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1987. v.2, p. 467-491.

GARCIA, S. F. M. *Estudo tridimensional de efeitos de halocinese em margens passivas*. 1999. 167 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG / organizadores, Luiz Augusto Bizzi, Carlos Schobbenhaus, Roberta Mary Vidotti, João Henrique Gonçalves – Brasília : CPRM –Serviço Geológico do Brasil, 2003.692 p.

HARRY, D.L., SAWYER, D.S. Basaltic volcanism, mantle plumes and the mechanics of rifting: the Paraná flood basalt province of South America. 1992. *Geology*, 20:207-210,.

HINZ, K. A Hypothesis on Terrestrial Catastrophes: Wedges of Very Thick Oceanward Dipping Layers beneath Passive Continental Margins. *Geologisches Jahrbuch*, *E* (22):3-28 p, 1981.

IKELLE; L. T.; AMUNDSEN, L. *Introduction to petroleum seismology*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2005. 679 p. Disponível em: <a href="http://www.petroleumgeophysics.com">http://www.petroleumgeophysics.com</a>. Acesso em: 11 jan. 2011.

MAGOON, L.B.; DOW, W.G. *The petroleum system-from source to trap.* 1994. p.3-23. (AAPG Memoir, 60).

MAGOON, L; B.; DOW, WALLACE G. The Petroleum system. In: THE PETROLEUM SYSTEM – from source to trap. Tulsa: AAPG, 1994. p.3 – 24. (AAPG Memoir, 60).

MELLO, M.R.; GONÇALVES, F.T.T.; TELNAES NETTO, A.S. A successful application of the petroleum system concept in the Camamu basin. [S.I.]: Offshore Brazil, 1994. In: FIRST POINT AAPG/AMPG Research Conference "Geological Aspects of Petroleum Systems", Mexico City, Mexico.

MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; PESSOA NETO, O. C. Introdução. *Boletim de. Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 183-205, maio/nov. 2007.

MITCHUM JR., R. M.; VAIL, P. R.; THOMPSON III, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: PAYTON, C.E. (Ed.). *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1977a. Part 2, p. 53-62.(Memoir, 26),

MITCHUM JR., R. M.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: PAYTON, C.E. (Ed.). *Seismic stratigraphy applications to hidrocarbon exploration*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1977b. Part 6, p. 117-133. (Memoir, 26).

MIZUSAKI, A.M.P.; THOMAZ FILHO, A.; MILANI, E.J.; CÉSERO, P. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 15(2):183-198, 2002.

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem Continental Brasileira. Brasília, DF.Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2003. p. 87-165.

MOHRIAK, W.U.; Rabelo, J.H.L.; MATOS, R.D.; BARROS, M.C. Deep Seismic Reflection Profiling of Sedimentary Basins offshore Brazil: Geological Objectives and Preliminary Results in the Sergipe Basin. Journal of Geodynamics, 1995a. p. 20:515-539.

MUTTER, J.C. Seaward Dipping Reflectors and the Continent-Ocean Boundary at Passive Continental Margins. Tectonophysics, 1985. p.114:117-131.

MUTTER, J.C., TALWANI, M., STOFFA, P.L. Origin of Seaward-Dipping Reflectors in Oceanic Crust off the Norwegian Margin by "Subaerial Sea-Floor Spreading": Geology, 1982. p.10:353-357.

NEAL, J.; RISCH, D.; VAIL, P. Sequence stratigraphy. A Global theory for local succes. *Oil Field Review, Chester*, p. 51-63, jan. 1993.

OLIVEIRA, A. G. *Uma Análise de métodos de supressão de múltiplas de superfície livre aplicados a um dado real.* 2011. p. 25-107. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Pós - Graduação em Geofísica, Belém, 2011.

OLIVEIRA, L. A. Determinação do macromodelo de velocidade em profundidade para dados reais 2D da Bacia de Jequitinhonha. Belém, 2013. p. 3- 20. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Pós - Graduação em Geofísica, Belém, 2013.

PAYTON, C.P. Seismic Stratigraphy- applications to hydrocarbon exploration. Tulsa: Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1977. 516p. (Memoir, 26).

POSAMENTIER, H. W, VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition II-Sequence and systems tract models. In: Wilgus, C.K. et al., org.:Sea level change – an integrated approach. SEPM, Spec. Pul., n°42, 1988. p. 125-154.

RANGEL, H. D. et al. Bacia do Jequitinhonha. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 475-483, maio/nov. 2007.

SANGREE, J. B.; WIDMIER, J.M. Interpretation of depositional facies from seismic data. *Geophysics*, v. 44, p. 131-160. 1979.

SANTOS, C. F.; GONTIJO, R. C.; ARAÚJO, M. B.; FEIJÓ, F. J. Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 185 - 190 jan./mar. 1994.

SEVERIANO RIBEIRO, H. J. P. *Estratigrafia de sequências*: fundamentos e aplicações. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2001. 428p.

THOMAZ-FILHO A., MIZUSAKI A.M.P., ANTONIOLI L. *Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua inluência na geologia do petróleo*. Revista Brasileira de Geociências volume 38 (2 - suplemento), 2008. 131 – 133 p.

VAIL, P. R.; MITCHUM JR., R. M. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 1: Overview. In: PAYTON, C. E. (Ed.). *Seismic stratigraphy applications to hidrocarbon exploration*. Tulsa, AAPG, 1977. p. 51-52 (Memoir # 26).

VALENTE L. S. S. Estimativa de modelo de velocidade em profundidade a partir de velocidades de migração em tempo. 2007. p.14-41. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

VERSCHUUR, D. J. Seismic multiple removal techniques. The Netherlands: European Association of Geocientists and Engineers, 2006. p 19.

VIEIRA, R.A.B.; MENDES, M.P.; VIEIRA, P.E.; COSTA, L.A.R.; TAGLIARI, C.V.; BACELAR, L.A.P.; FEIJO, F.J. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. *Bol. Geociência da Petrobras*, v. 8, n. l, p. 191-202. 1994.

YILMAZ, O. Seismic data analysis. Processing, inversion, and interpretation of seismic data. 2. ed. [S.1.]: Society of Exploration Geophysicists, 2001. 2027 p.

YILMAZ, O. Seismic data processing. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 1987, v. 2, 523 p.