

**Manuela Souza do Amaral**

**Interpretação geológica da camada do sal aptiano na porção centro-norte da bacia de Santos.**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2011



UFRJ

**Manuela Souza do Amaral**

**INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DA CAMADA DO SAL APTIANO NA PORÇÃO  
CENTRO-NORTE DA BACIA DE SANTOS.**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador(es):

Leonardo Borghi (UFRJ)  
Andres Gordon (El Paso)

Rio de Janeiro  
DEZEMBRO 2011

Manuela, Souza

**Interpretação geológica da camada do sal Aptiano na porção centro norte da bacia de Santos.**

/ Manuela Souza - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2011.

xiii, 53 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, ano.

Orientador(es): Leonardo Borghi, Andres Gordon

1. Geologia. 2. Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I Leonardo Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

**Manuela Souza do Amaral**

**Interpretação geológica da camada do sal aptiano na porção centro norte da Bacia de Santos.**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador(es):

Leonardo Borghi (UFRJ)  
Andres Gordon (El Paso)

Aprovada em: 02.12.2011

Por:

---

Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)

---

Andres Gordon (El Paso)

---

Renato Rodriguez Cabral Ramos (UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2011

Dedico este trabalho à minha família.

## **Agradecimentos**

A Agência Nacional do Petróleo (ANP) pela disponibilização dos dados utilizados no presente trabalho;

A El Paso pela disponibilização dos dados e espaço para a realização deste trabalho.

Ao grande amigo e orientador geólogo Andres Gordon, pela orientação e principalmente pelo inestimável incentivo e enorme apoio dados desde o início do trabalho;

Ao Prof. Dr.Borghi, pela aceitação ao tema, pela orientação e, principalmente pela dedicação a realização deste trabalho;

Também sou grata a todos os amigos e familiares que de alguma forma apoiaram, incentivaram e colaboraram na realização deste trabalho, em especial ao amigo João Carlos pela ajuda específica nesse trabalho.

*Quase tudo é possível quando se tem dedicação e habilidade. Grandes trabalhos são realizados não pela força, mas pela perseverança.*

## Resumo

Amaral, Manuela. **Interpretação geológica da camada do sal aptiano na porção centro norte da Bacia de Santos**. 2011. xiii, 53 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Brasil.

A bacia de Santos, localizada na Região Sudeste do Brasil vem sendo alvo de muitos estudos nos últimos anos devido ao seu grande potencial para geração de hidrocarbonetos. A camada do sal tem recebido importantes pesquisas, já que funciona como a principal rocha selante dos reservatórios carbonáticos do pré-sal, apresentando espessuras de até 2000 m. Neste trabalho foram utilizadas as ferramentas de perfilagem (a partir de 6 poços) e análise sísmica ( a partir de 10 linhas), com a finalidade da interpretação geológica do sal. Foi possível observar de 4 a 7 ciclos deposicionais nos poços estudados, onde cada ciclo evoluiu de um ambiente de menor aridez, para uma ambiente de maior aridez com uma variabilidade mineralógica em camadas estratificadas marcadas pela presença de minerais como anidrita, halita, carnalita e silvita. Não foi possível fazer uma correlação litológica direta entre diferentes poços, nem mesmo com o auxílio da sísmica, devido à alta mobilidade da halita, destruindo por vezes as características deposicionais originais. Conclui-se que a camada estratificada de sal permaneceu preservada onde a halocinese não atuou fortemente, como aconteceu nos flancos dos diápiros. Em locais onde a halita foi altamente remobilizada essas camadas estratificadas não foram preservadas, não apresentando as suas características deposicionais originais como, por exemplo, nos domos e nas almofadas de sal. A presença de ciclos deposicionais na camada de sal é tradicionalmente interpretada na literatura geológica como relacionada a fases de incursões marinhas alternadas com a contínua formação das barreiras formadas pela Dorsal de São Paulo e pelo Alto de Florianópolis.

Palavras-chave: bacia de Santos; camada de sal; perfilagem de poços; análise sísmica.

## Abstract

Amaral, Manuela. **Geological interpretation of the Aptian salt layer in the central northern Santos Basin**. 2011. xiii, 53 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Santos basin is located in the southeast region of Brazil. It has been the subject of many studies in recent years due to its great potential for generating hydrocarbons. The salt layer has also been the subject of important research, because it is the main seal rock of the carbonate reservoirs of the pre-salt, can reaching a maximum thickness of 2000m. The database for this study comprises 10 seismic lines (in 2D) and 6 wells are all provided by the ANP. The main objective of this work was the geological interpretation of the salt layer of Santos basin, where 4 to 7 depositional cycles were observed. These cycles represent an increasing in the environmental aridity, the evaporites deposition began with anhydrite followed by, halite, carnallite and sylvite. It wasn't possible to perform a direct correlation between the different wells in the salt layers, because the high mobility of halite destroyed the original depositional features. It is concludes that the depositional record is better preserved in places where there halokinesis did not act strongly as for example on the flanks of diapirs. Normally the salt remobilization destroyed the original depositional features in domes and salt pillows. These depositional cycles are traditionally interpreted in the Brazilian geological literature, as directly related to several stages of marine ingressions and the continuous build-up of the barriers formed by São Paulo and Florianópolis Ridge.

Key-Words: Santos basin; salt layer, well logs; seismic analysis

## Lista de figuras

Figura 1A – Localização da área de estudo modificado de BDEP (2011).....	2
Figura 1B – Localização da área de estudo modificado de Nunes (2004).....	2
Figura 2 – Mapa de localização da dos poços (A-E) e linhas sísmicas (1-10) utilizados neste trabalho (mapa modificado de BDEP; 2011.....	4
Figura 3 – Configuração dos continentes no Aptiano (LAWVER et al., 2004).....	8
Figura 4 – Seção esquemática mostrando o basculamento para leste e a formação da discordância “pré-Aptiano Superior” (DIAS, 2005).....	9
Figura 5 – Reconstrução paleogeográfica no Aptiano (adaptado de DIAS, 2005).....	10
Figura 6 – Distribuição das estruturas halocinéticas na bacia de Santos (modificado de MODICA e BRUSH; 2004).....	11
Figura 7 – Estágios do diapirismo, adaptado de Hongxing e Vendeville (1997).....	14
Figura 8 – Seção esquemática de um diápiro de sal, mostrando os tipos de trapas mais comuns para acumulação de hidrocarbonetos (modificado de Tearpock e Bischke, 1990).....	16
Figura 9 – Distribuição de velocidades de ondas compressivas observadas em diferentes rochas e fluidos (modificado de Lima., 2005).....	20
Figura 10 – Diagrama estratigráfico da bacia de Santos, a área grifada em vermelho indica o intervalo de estudo, que envolve a Formação Ariri do Grupo Guaratiba (MOREIRA et al., 2007).....	23
Figura 11 – Seção geológica esquemática da bacia de Santos, mostrando a progradação da fase drifte gerando o deslocamento dos evaporitos em direção ao depocentro da bacia (modificado de NUNES et al., 2004.....	26
Figura 12 – Seção estratigráfica SW-NE horizontalizada tomando-se a base da Formação Guarujá mostrando os resultados da interpretação litológica feita a partir de perfis elétricos. Observa-se uma espessura média de 1800m para a Fase Transicional e topo (base da Formação Guarujá) e base (topo da Formação Guaratiba) para este intervalo de estudo.....	27
Figura 13 – Seção estratigráfica do intervalo de estudo (Fase Transicional), observando-se os resultados da interpretação litológica detalhada feita a partir de perfis elétricos no intervalo deposicional dos evaporitos. Observam-se de 4 a 7 ciclos deposicionais (indicados por setas	

vermelhas), mostrando uma ambiente que varia de menor aridez para maior aridez, com ciclos deposicionais menores na camada estratificada (a) e ciclos deposicionais maiores na camada não estratificada (b).....	28
Figura 14 – Linha sísmica 8. Observa-se que não foi possível a realização de uma correlação direta entre os poços. Os horizontes sísmicos interpretados correspondem a: Fundo do mar (FM), Topo do sal (TS) e Base do sal (BS).....	30
Figura 15 – Linha sísmica 9. Observam-se padrões deposicionais do sal, tendo da base para o topo: uma espessa camada homogênea de sal (SH), seguida por uma camada estratificada (SE). Os horizontes identificados foram definidos na Figura 14. ....	31
Figura 16 – Correlação entre o sismograma sintético do poço B e linha sísmica 8, observa-se a correlação entre as reflexões e as camadas estratificadas (silvita e carnalita). Os horizontes identificados foram definidos na Figura 14.....	32
Figura 17 – Correlação entre as litologias identificadas, perfis de raio Gama, sônico compressivo e sismograma sintético, identificando as reflexões nas camadas dos sais radioativos (silvita e carnalita) no poço B (TUPI - 1_BRSA_369A_RJS).....	33
Figura 18 – Mapa de isópacas em tempo duplo do intervalo do estudo (Fase Transicional), obtido através do mapeamento sísmico, mostrando as linhas sísmicas utilizadas, a localização dos poços e as diferentes espessuras observadas numa seção evaporítica. Para a conversão da escala de tempo em profundidade utilizou-se a velocidade média do evaporito de 4500 m/s. Observam-se as muralhas de sal (poços B, C e E) além de diápiros e almofadas de sal (A e D).....	34
Figura 19 – Mapa de contorno estrutural do topo da camada de sal, obtido através do mapeamento sísmico onde se utilizou o nível do mar como um nível de referência (ou datum). As linhas em branco representam um mapeamento horizontal sobre as linhas sísmicas, indicando as áreas onde são encontradas as camadas de sais estratificados, não sendo observadas, por exemplo, nos domos de sal (linha a-b).....	35
Figura 20 – Linha sísmica 8. Observa-se que as estratificações são preservadas nos flancos dos diápiros e destruídas dentro do diápiro. Os horizontes identificados foram definidos na Figura 14.....	36

**Lista de quadros e tabelas**

<b>Quadro 1</b> - Linhas sísmicas utilizadas (v. Fig.2).....	5
<b>Quadro 2</b> - Poços utilizados (v. Fig.2).....	5
<b>Tabela 1</b> – Propriedades físicas em perfis elétricos de poços (MOHRIAK <i>et al.</i> , 2008).....	18

## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	viii
<i>Abstract</i> .....	ix
Lista de figuras .....	x
Lista de tabelas .....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS .....	3
3 BASE DE DADOS .....	4
4 MÉTODOS.....	6
4.1 Revisão bibliográfica.....	6
4.1.1 Modelo sequencial de precipitação de evaporitos.....	6
4.1.2 Configuração geotectônica da margem leste do Brasil no Aptiano.....	7
4.1.3 Tectônica salífera.....	11
4.1.4 Os depósitos evaporíticos e as acumulações de petróleo.....	14
4.2 Principais técnicas utilizadas.....	17
4.2.1 Perfilagem de poços.....	17
4.2.2 Análise sísmica.....	19
5 GEOLOGIA REGIONAL.....	22
5.1 Localização da área de estudo.....	22
5.2 Geologia regional da área de estudo.....	22
5.2.1 Fase Rife.....	24
5.2.2 Fase Transicional.....	24
5.2.3 Fase Pós-rife.....	25
6 RESULTADOS .....	27
6.1 Interpretações mineralógicas e correlação.....	27
6.2 Efeitos da halocinese.....	34
7 CONCLUSÕES.....	37
Referências bibliográficas.....	39

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia de Santos, localizada na Região Sudeste do Brasil é limitada ao norte com a bacia de Campos pelo Alto de Cabo Frio e ao sul com a bacia de Pelotas pelo Alto de Florianópolis (figuras 1A e 1B). Sua origem é relacionada com o processo de rifteamento que culminou com abertura do Oceano Atlântico. A bacia de Santos é mundialmente reconhecida devido ao seu grande potencial para a produção de hidrocarbonetos.

A bacia de Santos, assim como as demais bacias da margem leste brasileira, está dividida de acordo com sua evolução tectonossedimentar em três fases distintas, denominadas Rifte, Transicional e Pós-rifte (MOREIRA *et al.*, 2007). Do ponto de vista geológico, as camadas de sal foram formadas na fase denominada Transicional (NUNES *et al.*, 2004).

Recentemente, com as descobertas dos reservatórios carbonáticos do intervalo Pré-sal, as pesquisas na direção desta bacia têm aumentando significativamente, onde a camada de sal apresenta espessuras de até 2000 m.

O entendimento dos processos de formação (precipitação), preservação das características deposicionais do sal e da halocinese são de extrema importância para a exploração de hidrocarbonetos localizados em águas profundas, já que, suas camadas constituem a principal rocha selante dos reservatórios carbonáticos do intervalo Pré-sal.

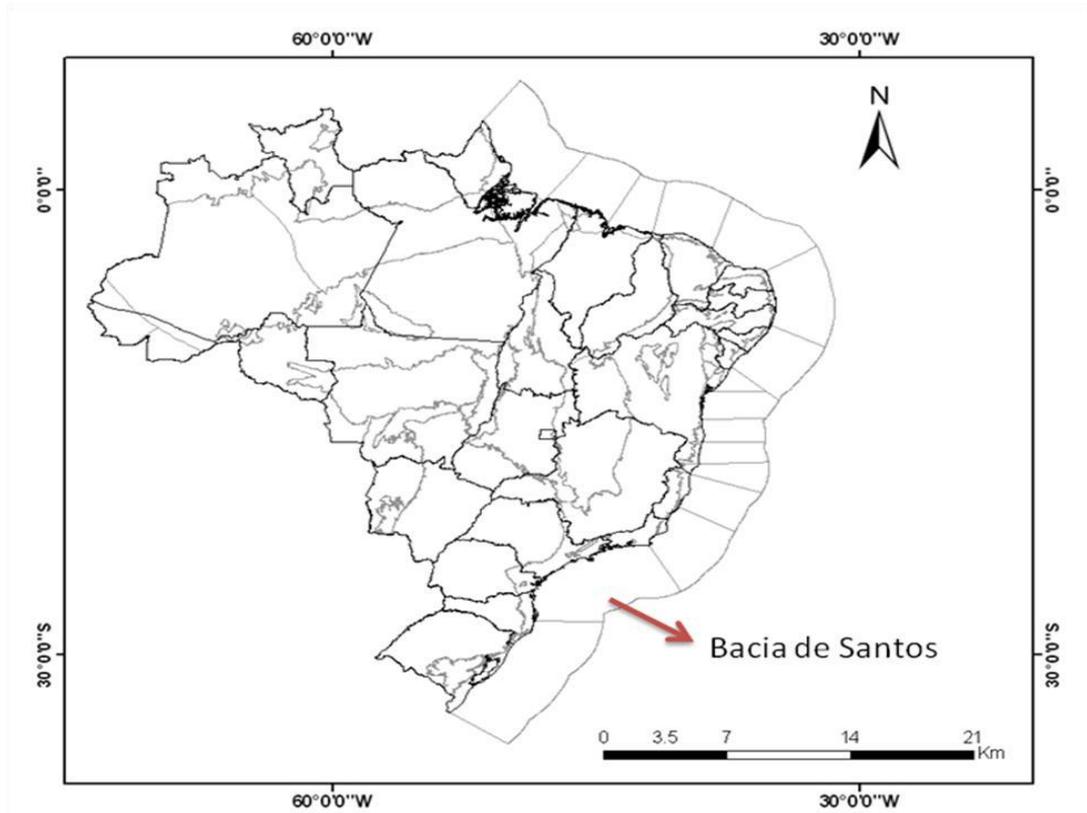


Figura 1A – Localização da área de estudo na margem continental Brasileira (modificado de BDEP, 2011).

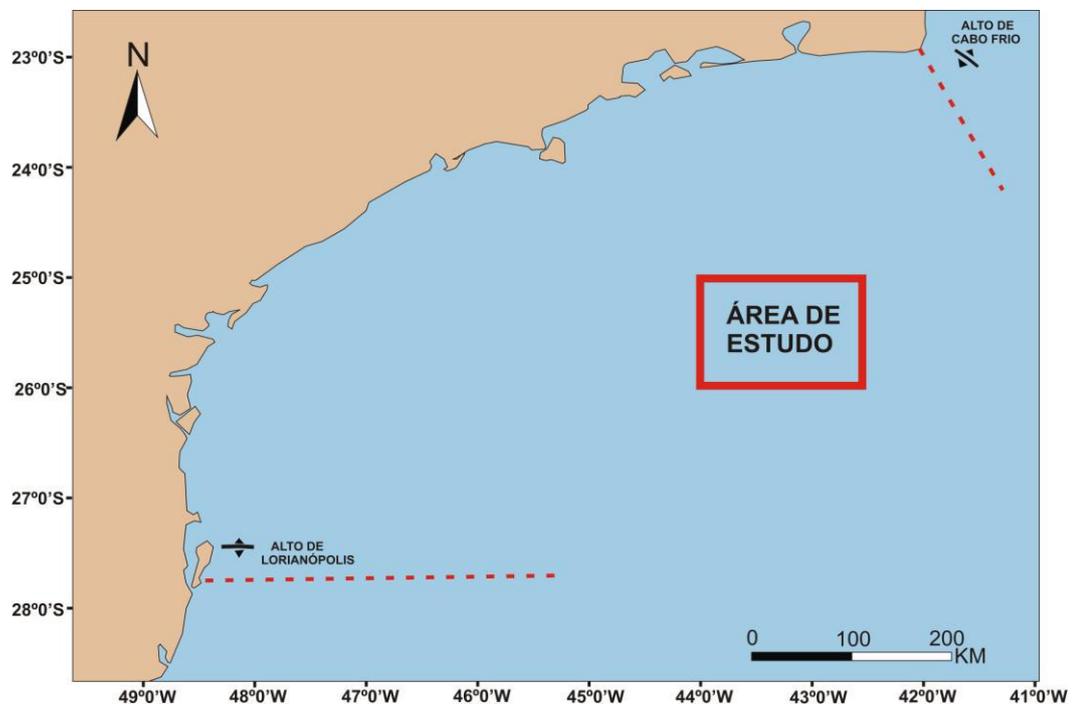


Figura 1B – Localização da área de estudo na bacia de Santos (modificado de Nunes, 2004).

## 2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como principal objetivo a interpretação geológica do intervalo das camadas de sal na porção centro norte da bacia de Santos, entre os paralelos 25° a 26° e os meridianos 42°30' a 44° (Figura 1B).

De forma que o principal objetivo pode ser desmembrado em:

- 1) caracterização litológica do sal;
- 2) identificação de sua estratificação cíclica de acordo com o grau de aridez da bacia;
- 3) correlação dos resultados obtidos entre perfil e sísmica;
- 4) mapeamento estratigráfico e estrutural em subsuperfície do intervalo do sal; e
- 5) determinação dos controles estruturais de deposição e preservação do sal.

### 3 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada foi disponibilizada pela Agência Nacional do Petróleo (Resolução nº 23, ano 1997), que autoriza a utilização de 10 linhas sísmicas e 6 poços, com fins acadêmicos.

As linhas sísmicas e os poços selecionados podem ser observados nos quadros 1 e 2 respectivamente, e localizados no mapa da Figura 2.

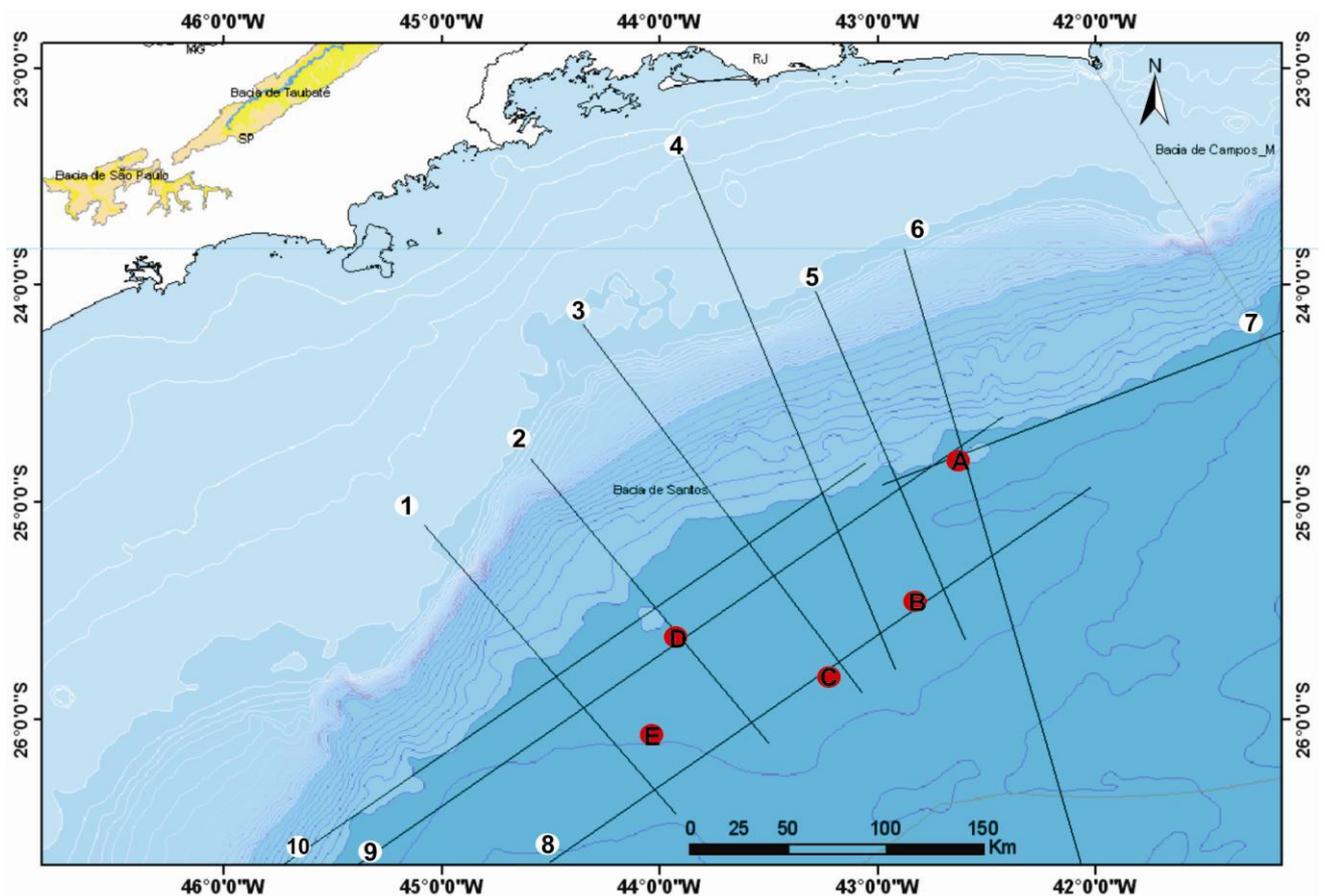


Figura 2 – Mapa de localização da dos poços (A-E) e linhas sísmicas (1-10) utilizados neste trabalho (mapa modificado de BDEP, 2011).

**Quadro 1** - Linhas sísmicas utilizadas no presente estudo(v. Fig.2).

<b>Numeração</b>	<b>Linhas</b>
1	0248-0031
2	0248-0023
3	0248-0011
4	0248-0006
5	0248-0003
6	0239-0366
7	0250-1225
8	0248-0116
9	0248-0114
10	0248-0113

**Quadro 2** - Poços utilizados no presente estudo(v. Fig.2).

<b>Letras</b>	<b>Poços</b>
A	1_BRSA_183D_RJS
B	1_BRSA_369A_RJS (TUPI)
C	1_BRSA_594_SPS
D	1_BRSA_532A_SPS
E	1_BRSA_526_SPS

## 4 MÉTODOS

Para este trabalho primeiramente foi realizada uma ampla revisão bibliográfica do tema, destacando-se o modelo sequencial de evaporitos, tectônica salífera e a importância das camadas de sal para a indústria do petróleo.

Para a discriminação dos minerais evaporíticos e determinação de ciclicidade, utilizaram-se perfis elétricos de poços fornecidos pela ANP.

Posteriormente a partir de análise sísmica e sua correlação com perfis elétricos de poços foram feitos mapas de isópacas e de contorno estrutural com os quais se buscou a determinação dos controles estruturais de deposição e preservação do sal.

### 4.1 Revisão bibliográfica

#### 4.1.1 Modelo sequencial de precipitação de evaporitos

Os evaporitos são rochas formadas em condições muito específicas de precipitação, de uma maneira geral ocorrem em ambientes restritos onde as taxas de evaporação superam as taxas de precipitação pluviométrica mais a entrada de água no sistema.

Ambientes com altas concentrações de sais que apresentem condições favoráveis a precipitação de minerais formadores de evaporitos são conhecidos como salmouras.

A variação de salinidade em tempo geológico apresentada por essas salmouras são capazes de gerar seqüências evaporíticas que podem ser bem observada em um empilhamento vertical e em alguns casos com continuidade lateral (MOHRIAK *et al.*, 2008).

Com o prosseguimento da evaporação o volume de água vai diminuindo enquanto que o volume de sais permanece constante no sistema. Quando a concentração dos íons formadores de evaporitos ultrapassa sua solubilidade na água, ocorre à precipitação destes sais.

A precipitação do sal segue a seguinte ordem (MOHRIAK *et al.*, 2008):

- 1°. Carbonatos como calcita, aragonita e dolomita que antecedem a deposição dos evaporitos.
- 2°. Sulfato de cálcio, primeiro é depositada a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), este estágio requer a evaporação de 70% do solvente. Posteriormente a gipsita é transformada em anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) por perda de moléculas de água.
- 3°. Halita ( $\text{NaCl}$ ) é o evaporito mais observado em termo de volume na margem Leste Brasileira. Este estágio é alcançado quando ocorre a evaporação de 90% do solvente.
- 4°. Carnalita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), irá se formar quando o peso da salmoura estiver reduzido a 1% do peso original, que pode se transformar em Silvita ( $\text{KCl}$ ) a partir da dissolução do cloreto de magnésio.
- 5°. Bischofita ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), trata-se de um mineral desconhecido no Brasil começando a sua deposição quando a salmoura tem apenas 0,5% do seu peso original.
- 6°. Taquidrita ( $\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) também é uma variedade da Carnalita com o cloreto de cálcio substituindo o potássio, ocorre quando o salmoura tem menos do que 0,5% do seu peso original.

A alternância entre fases de alta e baixa solubilidade dos sais estão diretamente relacionadas a variações de aridez climática e também do aporte de águas da bacia.

#### 4.1.2 Configuração geotectônica da margem leste do Brasil no Aptiano

A bacia de Santos assim como as outras bacias da margem leste brasileira (da bacia de Pelotas a de Pernambuco), evoluiu a partir de um sistema de riftes que culminou com a

abertura do oceano Atlântico Sul. A evolução geológica seguiu três grandes fases (NUNES *et al.*, 2004): Rifte (Berriasiano ao início do Aptiano), Transicional (final do Aptiano) e Pós-rifte (Albiano ao Recente);

O intervalo Aptiano compreende a fase final do Rifte (Aptiano inicial) e também a fase transicional (Aptiano final). Onde o Brasil estava numa posição geográfica de clima tropical/subtropical (alta pressão) apresentando um clima predominantemente de árido a semiárido (Figura 3).

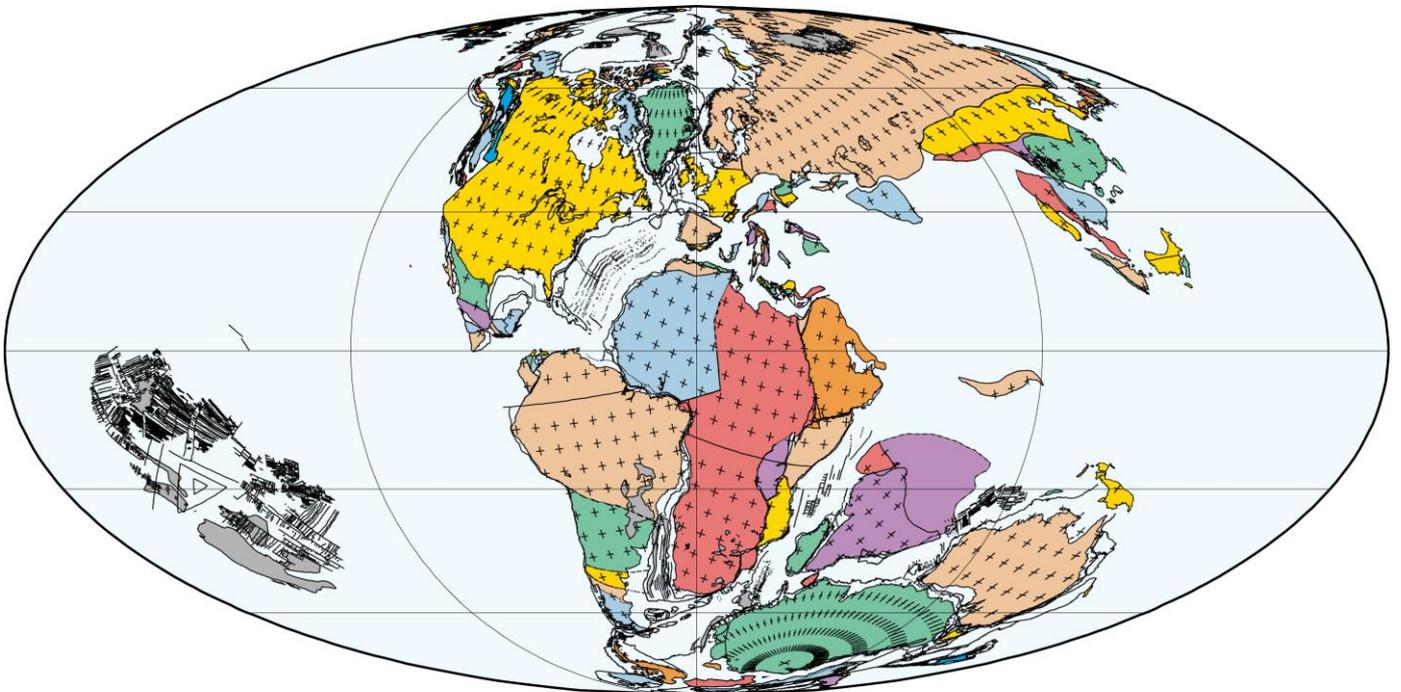


Figura 3 – Configuração dos continentes no Aptiano, onde o Brasil estava numa posição geográfica de clima tropical/subtropical (alta pressão) apresentando um clima predominantemente de árido a semiárido (LAWVER *et al.*, 2004).

*Aptiano inicial.* - O intervalo do Aptiano inicial é encontrado no final da fase Rifte apresentando sedimentos característicos de ambiente continental (Figura 4A), também com pequenos eventos associados, mostrando o início de uma possível incursão marinha (Jiquiá/Alagoas) (Figura 5A). A divisão entre o andar Aptiano final e inicial é marcada por uma discordância conhecida como discordância pré-Aptiano Superior, devido a uma exposição

subaérea das áreas proximais, ocasionada por um basculamento das bacias para as porções NE (Figura 4B; DIAS, 2005).

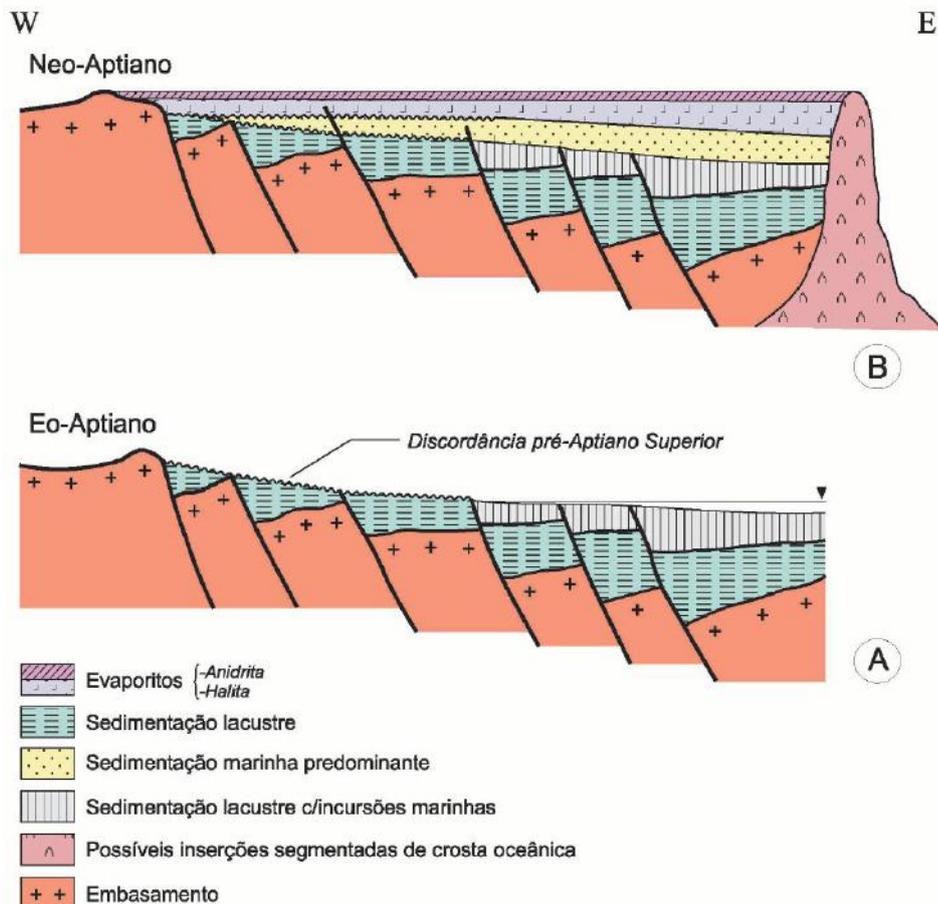


Figura 4 – Seção esquemática mostrando o basculamento crustal para leste e a formação da discordância “pré-Aptiano Superior” (DIAS, 2005).

*Aptiano final.* - Durante o avanço do Aptiano final existia uma grande barreira que impedia a circulação marinha marcada pela Dorsal de São Paulo e pelo Alto de Florianópolis (figuras 1B e 5B). Concomitantemente as bacias da margem leste apresentavam nessa fase uma grande subsidência, devido ao resfriamento da crosta continental estirada.

Esses fatores associados neste momento ao clima árido e semiárido no continente facilitaram a concentração de grandes volumes de evaporitos encontrados nestas bacias (DIAS, 2005).

A deposição de espessas camadas de sal (aproximadamente 2000 m) observada nas bacias da margem leste brasileira se deve ao fato de estas bacias terem apresentado no Aptiano várias fases de incursões marinhas e uma constante criação de espaço gerado pela subsidência térmica. Essas incursões marinhas eram intercaladas com momentos de bacia restrita para propiciar condições de evaporação/precipitação (MOHRIAK *et al.*, 2008).

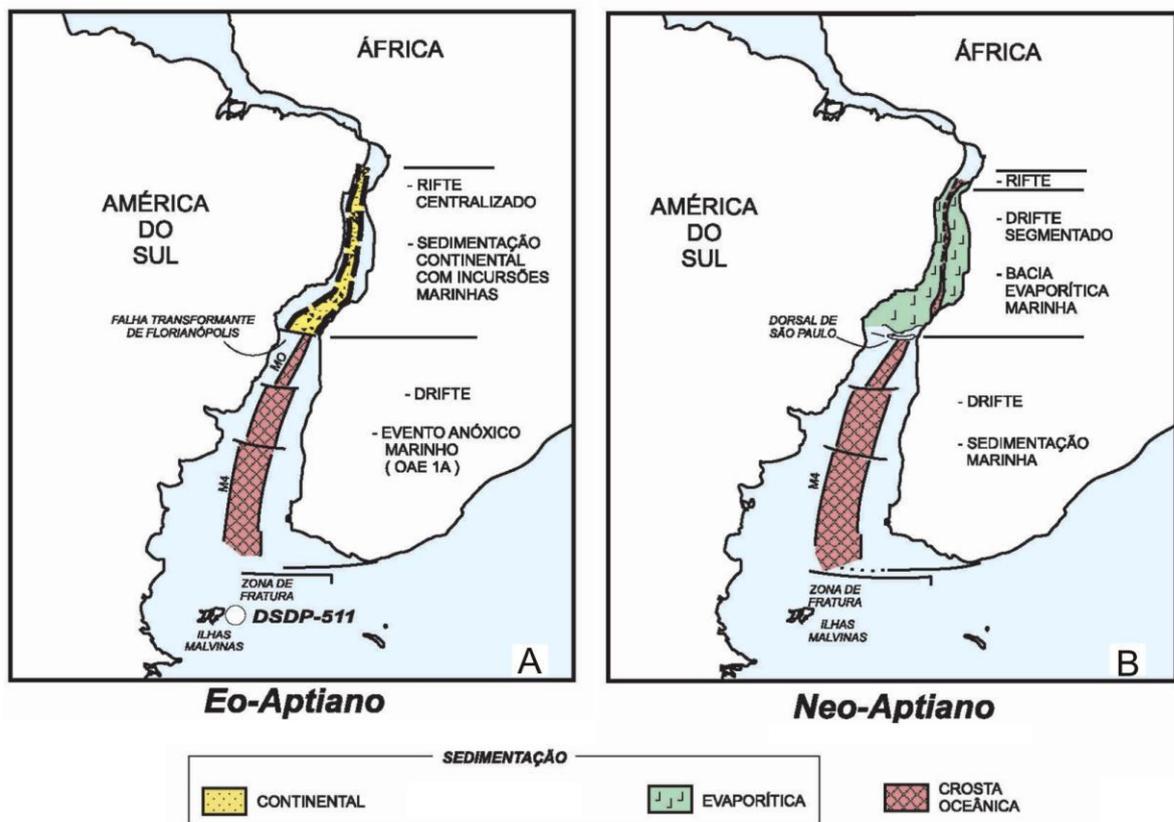


Figura 5 – Reconstrução paleogeográfica no Aptiano, observando que durante o avanço do Aptiano final existia uma grande barreira que impedia a circulação marinha marcada pela presença da Dorsal de São Paulo propiciando condições de evaporação/precipitação de evaporitos (adaptado de DIAS, 2005).

#### 4.1.3 Tectônica salífera

Os evaporitos depositados no Aptiano da margem passiva do Atlântico Sul, são classificados como sedimentos de fase Transicional entre as fases *sag* e marinha aberta, quando a subsidência já é governada pelo regime flexural e termal (MOHRIAK *et al.*, 2008).

Os efeitos da halocinese são conhecidos como tectônica salífera e no Brasil é mais expressivo durante o Albiano superior e Cenomaniano.

*Halocinese.* - A movimentação do sal é conhecida como halocinese, sendo capaz de gerar diversas deformações nas camadas do sal e do intervalo pós-sal (Figura 6)

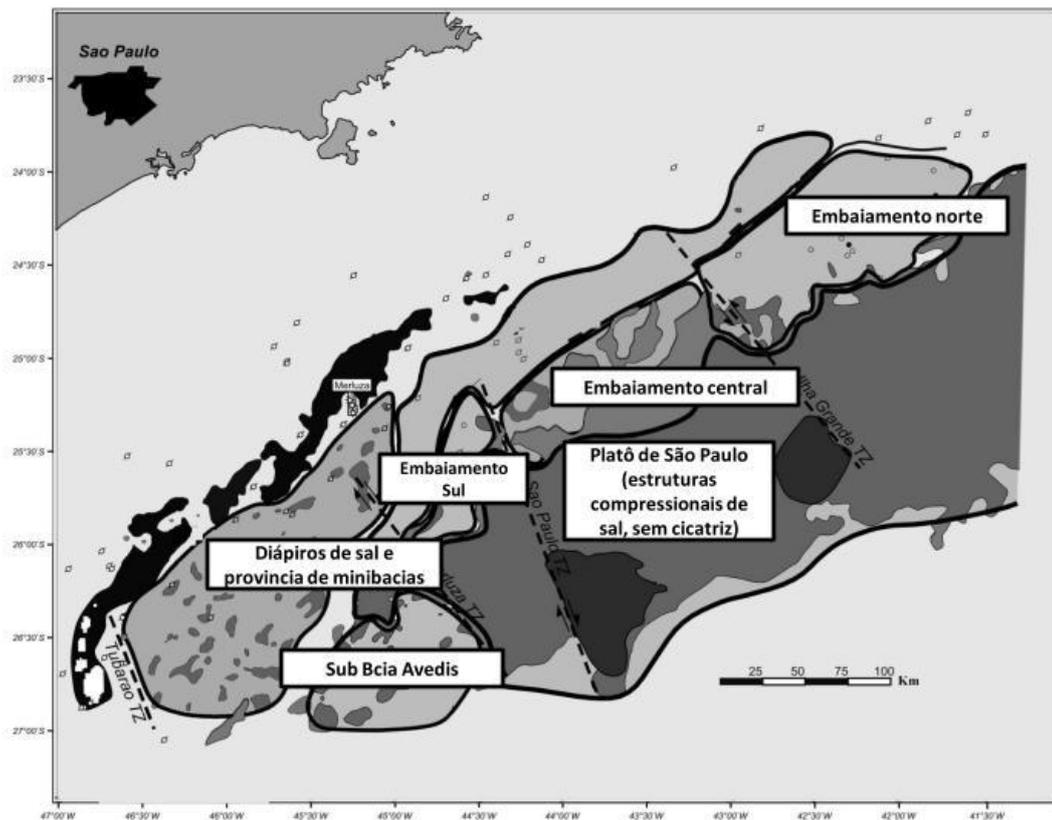


Figura 6 – Distribuição das estruturas halocinéticas na bacia de Santos (modificado de MODICA e BRUSH, 2004).

A halocinese está controlada pelas propriedades físicas dos evaporitos, principalmente na sua capacidade de fluir a baixas temperaturas e pressões. De acordo com o comportamento dos fluidos, qualquer fluido se move de regiões de alta pressão total para regiões de baixa pressão total. Esse comportamento também se aplica aos evaporitos que tendem a fluir de regiões de maiores sobrecargas para regiões de menor sobrecarga, como por exemplo, para os depocentros das bacias marginais. (MOHRIAK *et al.*, 2008).

As principais estruturas formadas pela movimentação do sal são:

- Cicatriz do sal: estrutura resultante da expulsão do sal da camada original.
- Almofada: feição positiva geralmente de forma subcircular, associada à subida do sal e com as camadas sedimentares concordantes.
- Diápiro: estrutura positiva perfurante, formando contato discordante entre as camadas sobrejacentes.
- Falha de crescimento: são falhas geradas durante a movimentação do sal, rompendo os estratos sobrejacentes e controlando a deposição sedimentar contemporânea com a movimentação do sal.
- Muralha de sal: é definida como um diápiro de sal bastante alongado numa direção, também apresenta contato discordante entre as camadas sobrejacentes.

Segundo Mohriak (2005) o modelo de tectônica extensional para a formação de diápiros de sal, inclui três principais estágios:

- 1) Diápiro reativo: ocorre na sequência de um episódio extensional com falhas normais, onde os falhamentos extensionais localmente afinam a cobertura sedimentar criando um gradiente de pressão. Este gradiente de pressão reduz à resistência da carga

sedimentar a ruptura, possibilitando o rompimento das camadas por diápirismo ativo (Figura 7A).

- 2) Diápirismo ativo: neste caso não é necessário que ocorra uma extensão para a ação da halocinese. Ocorre em locais onde o pacote sedimentar acima dos evaporitos está relativamente fraco e fino, o suficiente para que esses evaporitos rompam esse pacote sedimentar de forma penetrativa e forme o diápiro. Isto pode ser observado em regiões onde a sobrecarga sedimentar encontra-se afinada pela presença de cortes erosivos, como por exemplo, em cânions submarinos (Figura 7B).
- 3) Diápirismo passivo: neste caso os diápiros formam-se à medida que os sedimentos acumulam-se nas bacias periféricas, nos flancos do diápiro por processo de agradacão, afetado pela menor sobrecarga extensional, sem precisar ‘penetrar’ os pacotes sedimentares que são depositados lateralmente (Figura 7C).

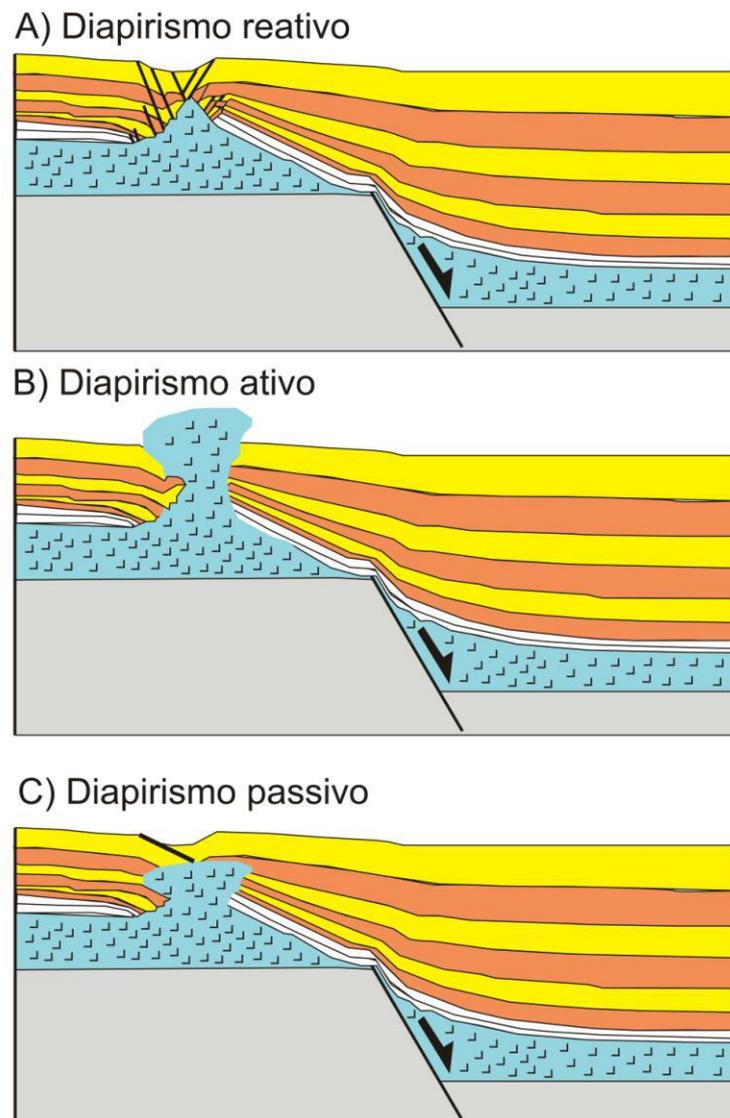


Figura 7 – Estágios do diapirismo, onde se observa o modelo de tectônica extensional para a formação de diápiros de sal, incluindo três principais estágios (adaptado de Hongxing e Vendeville, 1997).

#### 4.1.4 Os depósitos evaporíticos e as acumulações de petróleo.

A tectônica do sal vem sendo alvo de constantes pesquisas pela indústria do petróleo. Já que o sal pode afetar a distribuição dos reservatórios do pós-sal, gerar trapas e atuar como selo.

*Distribuição dos reservatórios do pós-sal.* - As estruturas halocinéticas afetaram diretamente a deposição dos siliciclásticos do Neocretáceo ao Recente.

Os depósitos carbonáticos do pós-sal eram formados preferencialmente sobre os relevos positivos do sal. Já os depósitos turbidíticos são encontrados nas minibacias formadas entre os domos, como por exemplo, os campos de Merluza e Tubarão.

*Selos.* - De uma maneira geral evaporitos são os capeadores mais eficientes nas acumulações de petróleo, embora os folhelhos sejam os mais comuns. Isso ocorre principalmente devido a impermeabilidade dos depósitos evaporíticos.

*Geração de trapas.* - Um simples diápiro de sal pode gerar mais de uma trapa de hidrocarbonetos. As mais comuns podem ser observadas na Figura 8 segundo Tearpock e Bischke, 1990. Sendo estas: (1) um simples domo anticlinal, (2) trapa de graben de falha sobre o domo de sal, (3) rocha capeadora porosa (calcário ou dolomita), (4) acunhamento de areia para os flancos, (5) trapa debaixo de uma “projeção”, (6) trapa contra o sal em si, (7) inconformidade, (8) trapas de falha indo em direção ao diápiro e (9) trapas de falha se afastando do diápiro. Além dessas trapas, falhas radiais e periféricas também servem como excelentes trapas de hidrocarbonetos.

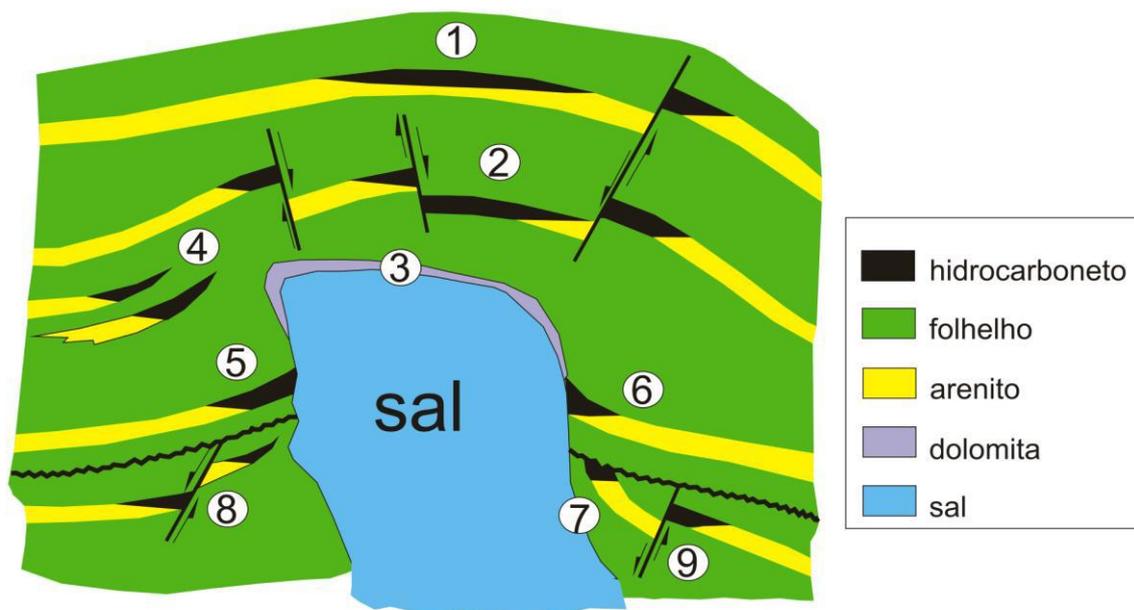


Figura 8 – Seção esquemática de um diápiro de sal, mostrando os tipos de trapas mais comuns para acumulação de hidrocarbonetos (modificado de *Tearpock e Bischke, 1990*)

O sal pode atuar também como uma janela formada por sua expulsão completa, permitindo a passagem de hidrocarbonetos da rocha geradora da fase Rife para a rocha reservatório da fase Pós-rife (NUNES *et al.*, 2004).

## 4.2 Principais técnicas utilizadas

### 4.2.1 Perfilagem de poços

A perfilagem de poços tem como principal objetivo fornecer um registro contínuo e confiável das propriedades das rochas atravessada por um sensor num poço.

Os perfis de poço ajudam a definir as características físicas e químicas da rocha, determinação de litologias, mineralogia, distinção entre os diferentes fluidos, identificação de zonas produtivas e para fazer estimativas das propriedades dos reservatórios.

Os tipos mais comuns de perfis e sua utilização na indústria do petróleo são raios-gama, potencial espontâneo, sônico, densidade, neutrão, resistividade, ressonância nuclear magnética, *dipmeter* e *caliper*. Podem ser observados abaixo os perfis utilizados neste trabalho:

- Raios-Gama (GR): mede a radioatividade natural da rocha emitido por elementos como  $^{232}\text{U}$ , Tório ( $^{238}\text{Th}$ ) e Potássio ( $^{40}\text{K}$ ). Pode ser utilizado para determinação e correlação litológica, refletindo principalmente a argilosidade, pois é comum a presença de elementos radioativos associados às rochas argilosas.
- Sônico (DT): registra o tempo requerido para uma onda sonora (compressional ou *shear*) atravessar uma distância equivalente a 1 pé da formação, ou seja, registra em profundidade o tempo de transito intervalar. É tradicionalmente conhecido como um perfil de porosidade, pois permite estimar a porosidade das rochas.
- Densidade (RHOB): raios Gama são emitidos de uma fonte que colidem com os elétrons da formação, a cada colisão, os raios Gama vão perdendo energia, onde o número de colisões é diretamente relacionado ao número de elétrons e permite estimar a densidade da rocha. Pode ser aplicado para a determinação de

porosidade, densidade, identificação de zonas de gás em conjunto com o perfil de Neutrão, litologia e correlação.

- Neutrão (NPHI): uma fonte radioativa emite nêutrons, que colidem com núcleos dos átomos da formação, sendo a sua perda de energia máxima quando colidem com uma massa aproximadamente igual a sua. Respondendo principalmente ao teor de hidrogênio presente na formação. É utilizado principalmente na identificação de gás e secundariamente para análise litológica, correlação e porosidade.

Os perfis de poços permitem a identificação de minerais evaporíticos, já que estes minerais possuem propriedades físicas bem marcantes como densidade, tempo de trânsito, radioatividade e porosidade.

Baseado nas propriedades físicas observadas em perfis elétricos de poços foram discriminados os seguintes minerais evaporíticos neste trabalho (Tabela 1):

**Tabela 1** – Propriedades físicas em perfis elétricos de poços (MOHRIAK *et al.*, 2008).

Mineral	Fórmula Química	Raio Gama (API)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de trânsito (µs/ft)	Porosidade Nêutron
Gipsita	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0-15	2,35	52,5	49
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	0-15	2,98	50,0	0
Halita	NaCl	0-15	2,03	67,0	0
Carnalita	KMgCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	200	1,57	78,0	65
Silvita	KCl	500	1,86	74,0	0

Na interpretação dos perfis foram utilizadas as informações de amostras de calhas fornecidas pela ANP para a marcação dos horizontes topo e base do intervalo de estudo (fase Transicional), além do aparecimento e desaparecimento dos minerais evaporíticos interpretados nos perfis elétricos de poços.

#### 4.2.2 Análise sísmica

O método sísmico é considerado uma das mais importantes ferramentas para a prospecção de hidrocarbonetos. Este método baseia-se nas ondas refletidas, onde as reflexões sísmicas são o registro do tempo de percurso de ondas geradas artificialmente na superfície e refletidas quando encontram um contraste de impedância acústica. A impedância acústica é definida como o produto da velocidade sísmica de um determinado intervalo de rocha pela sua densidade (SEVERIANO RIBEIRO, 2001).

O processo de propagação de ondas sísmicas compõe-se por processos ondulatórios diferentes formado por ondas que se propagam em subsuperfície (*body waves*) e as que viajam pelas superfícies (*surface waves*). As de *body wave* são conhecidas como: ondas primárias (P), chamadas de ondas compressoriais ou dilatacionais, e as ondas (S) conhecidas como cisalhantes ou transversais.

As principais propriedades das ondas (P) e (S) podem ser observadas abaixo

- Em um mesmo meio físico, as ondas compressoriais (P) são sempre mais rápidas que as ondas cisalhantes (S).
- As ondas cisalhantes (S) não se propagam nos poros das rochas, já as ondas compressoriais (P) se propagam tanto nos sólidos quanto nos líquidos. (KEAREY *et al.*, 2002).
- Os efeitos da diagênese podem aumentar as velocidades em rochas siliciclásticas, devido aos efeitos da compactação e da cimentação.

Segundo Lima (2005) as velocidades das ondas compressivas (P) com que estas ondas se propagam são função da densidade e das constantes elásticas do meio que elas atravessam. As velocidades são influenciadas, por exemplo, pela porosidade, conteúdo de fluidos e composição mineral da rocha.

Na Figura 9, se observa as velocidades médias para as ondas compressivas em diferentes tipos litológicos.

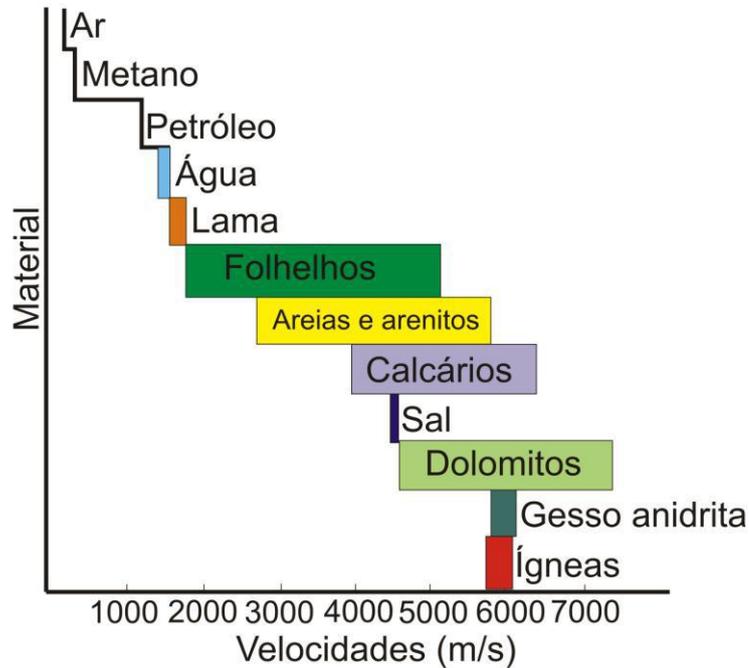


Figura 9 – Distribuição de velocidades de ondas compressivas observadas em diferentes rochas e fluidos (modificado de LIMA., 2005).

Na interpretação sísmica se efetuaram os seguintes procedimentos:

1) Construção de sismogramas sintéticos:

Os métodos sísmicos possuem baixa resolução vertical e fornecem o dado em domínio de tempo. Já os perfis de poço possuem uma cobertura regional limitada, porém alta densidade de amostragem vertical. Desta forma, utiliza-se a correlação entre estas duas ferramentas para a obtenção de resultados mais confiáveis em mapeamentos de subsuperfície mediante a construção de sismogramas sintéticos.

Os sismogramas sintéticos são gerados a partir dos perfis de densidade e sônico, multiplicando o inverso dos valores do perfil sônico (ou perfil de velocidade) pelos valores de densidade obtendo desta forma um perfil de impedância acústica. O perfil de impedância

acústica é filtrado com uma ondícula sísmica sintética (ou convolução) e posteriormente o sismograma sintético é comparado com uma sísmica real na posição do poço.

## 2) Mapeamento sísmico:

Na sísmica identificaram-se os refletores de fundo do mar (FM), topo do sal (TS) e base do sal (BS) para a confecção dos mapas de contornos estruturais e de isópacas. No registro sísmico usou-se o critério de alta refletividade (pico preto) no topo e na base (pico branco) da camada do sal, texturas sísmicas maciças em evaporitos de tipo halita ou anidrita e fortemente estratificado em evaporitos radioativos. Mediante a utilização do sismograma sintético amarrou-se os horizontes topo e base dos poços à sísmica.

Posteriormente construíram-se mapas estruturais e de espessura em tempo sísmico duplo. O mapa de contorno estrutural é um mapa que mostra linhas de iguais profundidades (em tempo sísmico) até o horizonte guia selecionado, desde um nível de referencia ou datum. Por exemplo, na sísmica marinha se utiliza o nível do mar. Já o mapa de isópacas refere-se à espessura vertical entre dois horizontes (topo e base em tempo sísmico) de correlação estratigráfica.

Por último foi realizado uma identificação sobre as linhas sísmicas dos lugares onde foi possível se observar estratificações do sal preservadas; esse resultado foi exposto sobre o mapa de contorno estrutural.

## 5 GEOLOGIA REGIONAL

### 5.1 Localização da área de estudo

A bacia de Santos está inserida na Região Sudeste da margem continental do Brasil, entre os paralelos 23° e 28° Sul, limitada ao norte com a bacia de Campos pelo alto de Cabo frio e ao sul com a bacia de Pelotas pela Plataforma de Florianópolis (Figura 1A).

Esta bacia possui cota batimétrica que alcança 3.000 m e ocupa uma área de cerca de 350.000 km<sup>2</sup>

A área de estudo está localizada na porção centro norte da bacia de Santos entre as latitudes 25 e 26° Sul e as longitudes 42°30' e 44° Oeste (Figura 1B).

### 5.2 Geologia regional da área de estudo

A bacia de Santos é considerada uma bacia Meso-Cenozóica de margem distensiva, sendo classificada por Klemme (1980) como bacia tipo V, onde sua gênese está ligada à presença de um estágio inicial rifte, ao qual se segue a introdução de material básico, com a formação de um eixo de espalhamento de fundo oceânico. A subsidência dessa bacia pode ter sido causada pelo resfriamento das vulcânicas básicas, e também pela sobrecarga de sedimentos introduzidos na bacia (RAJA GABAGLIA *et al.*, 1991).

O embasamento da bacia de Santos é composto por granitos e gnaisses pré-cambrianos do Complexo Costeiro e metassedimentos da Faixa Ribeira.

A bacia de Santos está dividida de acordo com sua evolução tectônica- sedimentar em três fases distintas, denominada Rife, Transicional e Pós-rife (ou Drifte), seguindo com a descrição mais detalhada abaixo (Figura 10).

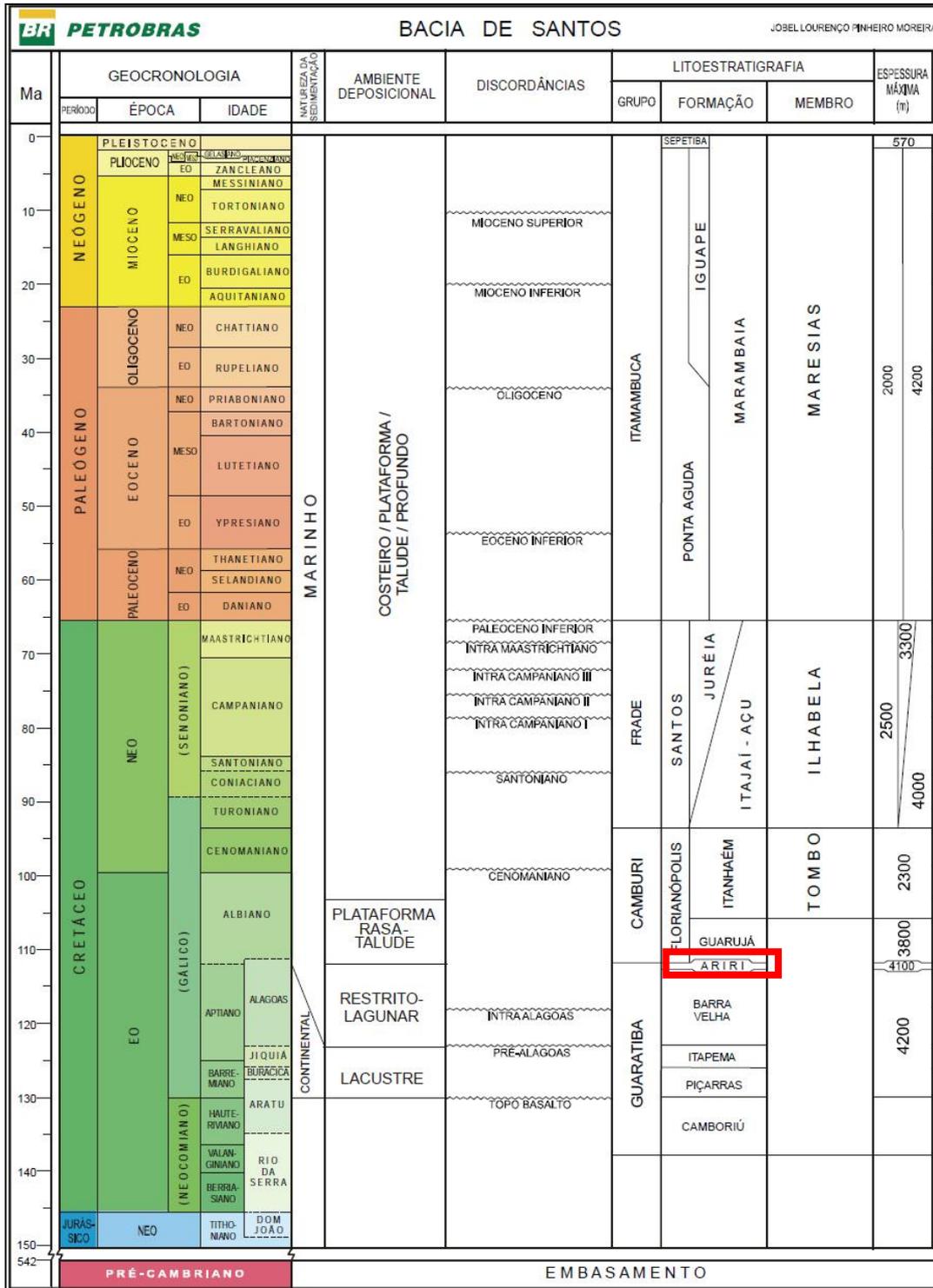


Figura 10 – Diagrama estratigráfico da bacia de Santos, a área grifada em vermelho indica o intervalo de estudo, que envolve a Formação Ariri do Grupo Guaratiba (MOREIRA *et al.*, 2007).

### 5.2.1 Fase Rifte

A fase Rifte da bacia começa no Hauteriviano (andares locais: Rio da Serra / Aratu) seguindo até o Neoptiano (andar local Jiquiá; MOREIRA *et al.*, 2007).

Na base é composta principalmente por vulcânicas básicas de idade Neocomiana da Formação Camboriú, sendo esta unidade correlacionada aos derrames basálticos da Formação Serra Geral, na bacia do Paraná, aos basaltos da Formação Cabiúnas na bacia de Campos e também com os basaltos da Formação Imbituba da bacia de Pelotas (NUNES *et al.*, 2004).

Sobre os basaltos da Formação Camboriú foram depositados leques aluviais de conglomerados progradantes sobre lago raso, denominado de Formação Piçarras do Grupo Guaratiba (NUNES *et al.*, 2004).

Com o avanço do processo de rifteamento, foram formados os lagos sin-rifte apresentando os principais geradores dessa bacia, representados pelos folhelhos ricos em matéria orgânica da Formação Itapema do Grupo Guaratiba, presentes nas porções mais distais (NUNES *et al.*, 2004).

A seção Rifte é encerrada pelos reservatórios do pré-sal que são representados por coquinas da Formação Itapema do Grupo Guaratiba (NUNES *et al.*, 2004).

### 5.2.2 Fase Transicional

Nesta fase foram depositadas as espessas camadas de sal da bacia, denominados de Formação Ariri (NUNES *et al.*, 2004), de idade Aptiano (andar local: Alagoas), que são a base deste estudo. Esta fase representa uma transição de ambiente continental para marinho, é caracterizada pela sedimentação em ambiente marinho restrito de alta salinidade, favorecendo a precipitação de minerais evaporíticos.

O principal evaporito encontrado nesta bacia é a halita, com mais de 80% em volume seguido de anidrita, gipsita, carnalita e silvita (MOHRIAK *et al.*, 2008).

A Formação Ariri pode ser correlacionada com o Membro Retiro da bacia de Campos, Itaúnas da bacia do Espírito Santo, Igrapiúna localizados na bacia de Camamu e Almada e também com Imburá no Sergipe (NUNES *et al.*, 2004).

### 5.2.3 Fase Pós-rifte

Nesta fase, as vezes denominada de Drifte, ocorreu a entrada definitiva do mar, iniciando com condições marinhas rasas onde se instalou a plataforma carbonática albiana da Formação Guarujá (NUNES *et al.*, 2004).

Evoluindo com a separação entre os continentes o ambiente tornou-se progressivamente mais profundo, favorecendo a deposição de margas, folhelhos e calcilitos, reconhecida nos perfis de raio Gama como uma superfície de inundação máxima de idade Neocenomaniano/Turoniano. Esse “afogamento” da bacia fez com que cessasse o crescimento da plataforma carbonática Albiana (NUNES *et al.*, 2004).

Durante o Neocretáceo o soerguimento da Serra do Mar culminou numa grande progradação, onde se depositaram os conglomerados e arenitos da Formação Santos, arenitos de mar raso da Formação Juréia e concomitantemente na parte mais distal os folhelhos da formação Itajaí-Açu (NUNES *et al.*, 2004) constituindo o sistema transgressivo-regressivo experimentado por esta bacia (Figura 11),. Estes sedimentos foram responsáveis pela sobrecarga que gerou o movimento halocinético fazendo com que espessas camadas de sal se deslocassem em direção ao depocentro da bacia (NUNES *et al.*, 2004).

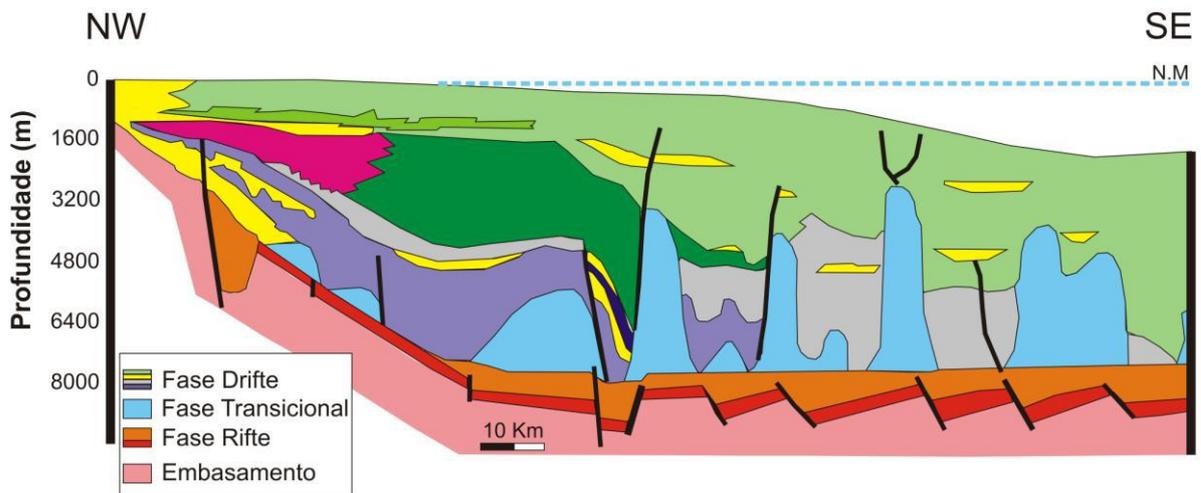


Figura 11 – Seção geológica esquemática da bacia de Santos, mostrando a progradação da fase drifte gerando o deslocamento dos evaporitos em direção ao depocentro da bacia (modificado de NUNES *et al.*, 2004).

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Interpretações mineralógicas e correlação

Com base na interpretação litológica feita a partir de perfis elétricos, foi possível observar que o pacote de evaporitos possui uma espessura média de 1800 metros nos poços analisados. Seu contato inferior é dado pelos carbonatos da Formação Guaratiba (ambiente lagunar restrito) e seu limite superior pelos carbonatos da Formação Guarujá (ambiente marinho raso).

A seção estratigráfica SW-NE foi horizontalizada tomando-se a base da Formação Guarujá (indicada a partir dos dados de poços disponibilizados pela ANP) como um datum, o que se observa na Figura 12.

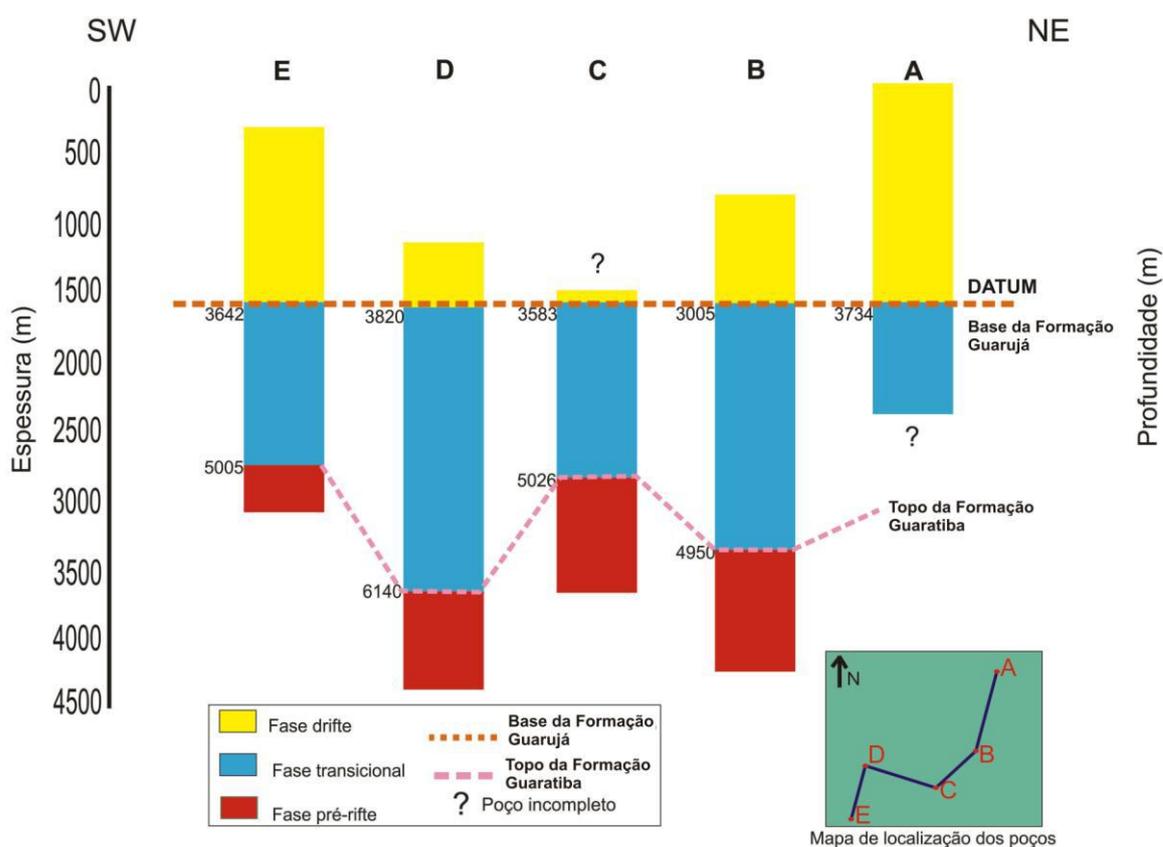


Figura 12 – Seção estratigráfica SW-NE horizontalizada tomando-se a base da Formação Guarujá mostrando os resultados da interpretação litológica feita a partir de perfis elétricos. Observa-se uma espessura média de 1800 m para a Fase Transicional e topo (base da Formação Guarujá) e base (topo da Formação Guaratiba) para este intervalo de estudo.

A partir da interpretação litológica mais detalhada feita a partir de perfis elétricos de poços na camada de sal, foi possível observar de 4 a 7 ciclos deposicionais nos poços estudados, onde cada ciclo evoluiu de um ambiente de menor aridez, para uma ambiente de maior aridez. Dentro de cada ciclo deposicional encontrou-se evaporitos em ordem crescente de aridez tais como, anidrita, halita e sais radioativos como carnalita e silvita.

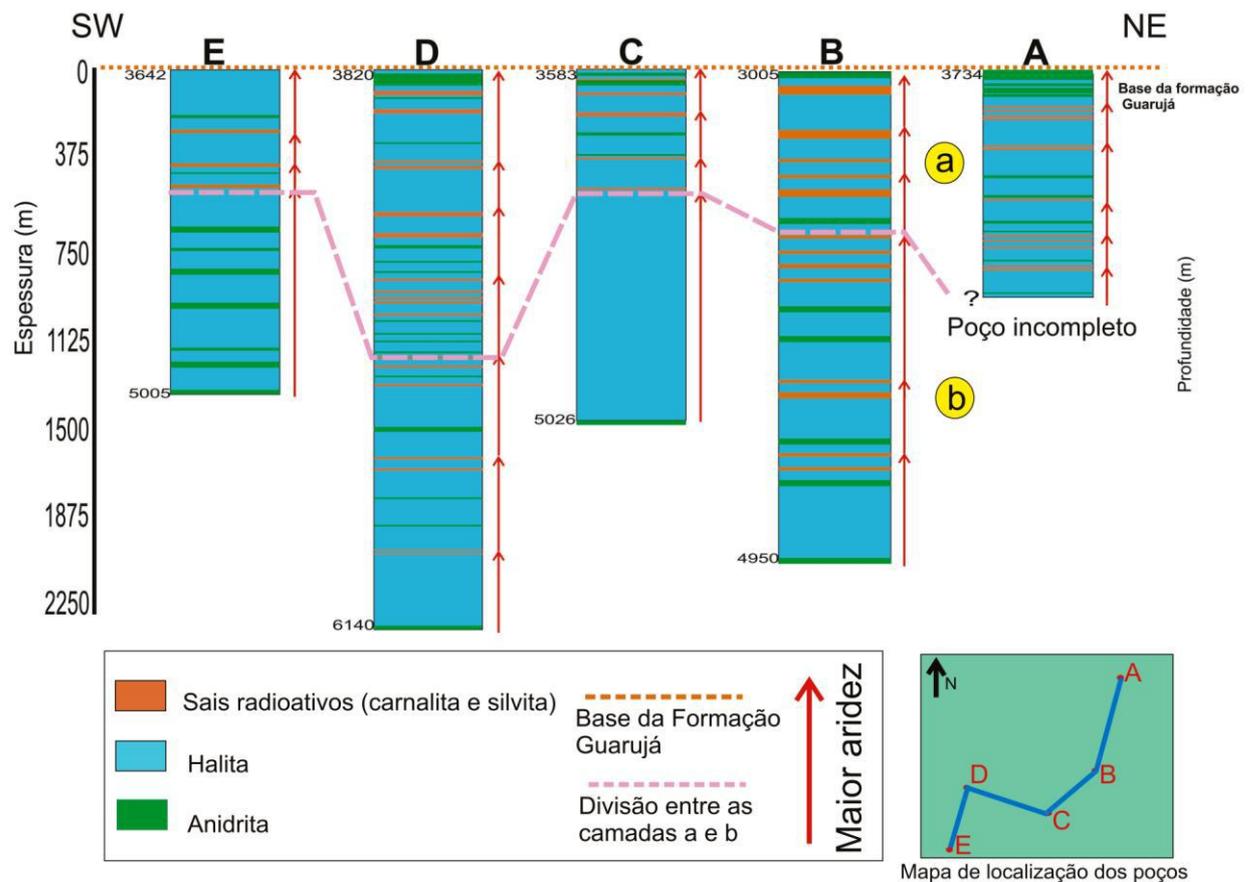


Figura 13 – Seção estratigráfica do intervalo de estudo (Fase Transicional), observando-se os resultados da interpretação litológica detalhada feita a partir de perfis elétricos no intervalo deposicional dos evaporitos. Observam-se de 4 a 7 ciclos deposicionais (indicados por setas vermelhas), mostrando uma ambiente que varia de menor aridez para maior aridez, com ciclos deposicionais menores na camada estratificada (a) e ciclos deposicionais maiores na camada não estratificada (b).

Não foi possível a realização de uma correlação faciológica direta entre os diferentes perfis de poços devido à alta mobilidade da halita, destruindo por vezes as características deposicionais originais (Figura 14).

Em locais onde a halocinese não atuou fortemente, foi possível observar padrões de deposição através da interpretação de perfis de poços e das seções sísmicas (figuras 13 e 15) onde se observa de uma maneira geral, da base para o topo, uma espessa camada homogênea de sal (SH), seguida por uma camada estratificada (SE) de sal. Sendo considerada como camada estratificada a que apresentou mais de 15% de estratificação na sua espessura total e camada homogênea a que apresentou menos que 15% de estratificação na espessura total da camada.

Observou-se também que a camada estratificada apresenta ciclos deposicionais mais curtos, em média de 150 m (variação de 100 a 300 m), enquanto que a camada homogênea apresenta ciclos deposicionais mais longos, em média de 500 m (variação de 350 a 500 m).

A resposta obtida através do sismograma sintético mostra claramente que as camadas maciças observadas na sísmica correspondem às espessas camadas interpretadas como halita que por vezes contém pequenas camadas de anidrita.

Observou-se também que as camadas estratificadas representariam camadas onde existe a presença dos sais radioativos como silvita e carnalita identificados no sismograma por sua alta refletividade (figuras 16 e 17). As camadas se apresentam estratificadas por conta da variação cíclica de aridez, que de acordo com a salinidade da salmoura forma diferentes minerais evaporíticos em uma escala de densidade que varia de  $1,57 \text{ g/cm}^3$  (carnalita) a  $2,98 \text{ g/cm}^3$  (anidrita), sendo bem observada nos perfis de poços e sismogramas sintéticos.

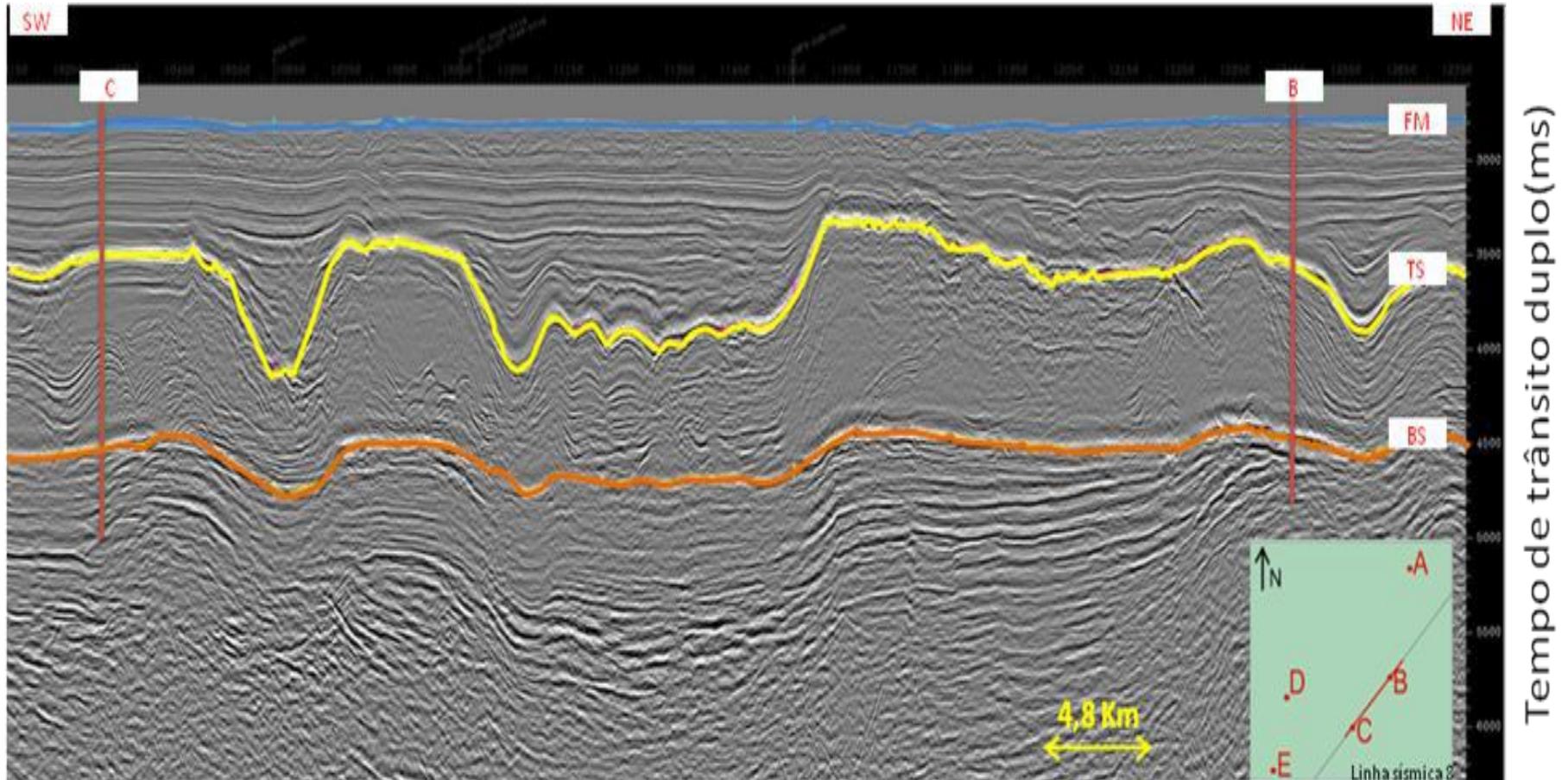


Figura 14 – Linha sísmica 8. Observa-se que não foi possível a realização de uma correlação direta entre os poços. Os horizontes sísmicos interpretados correspondem a fundo do mar (FM), topo do sal (TS) e base do sal (BS).

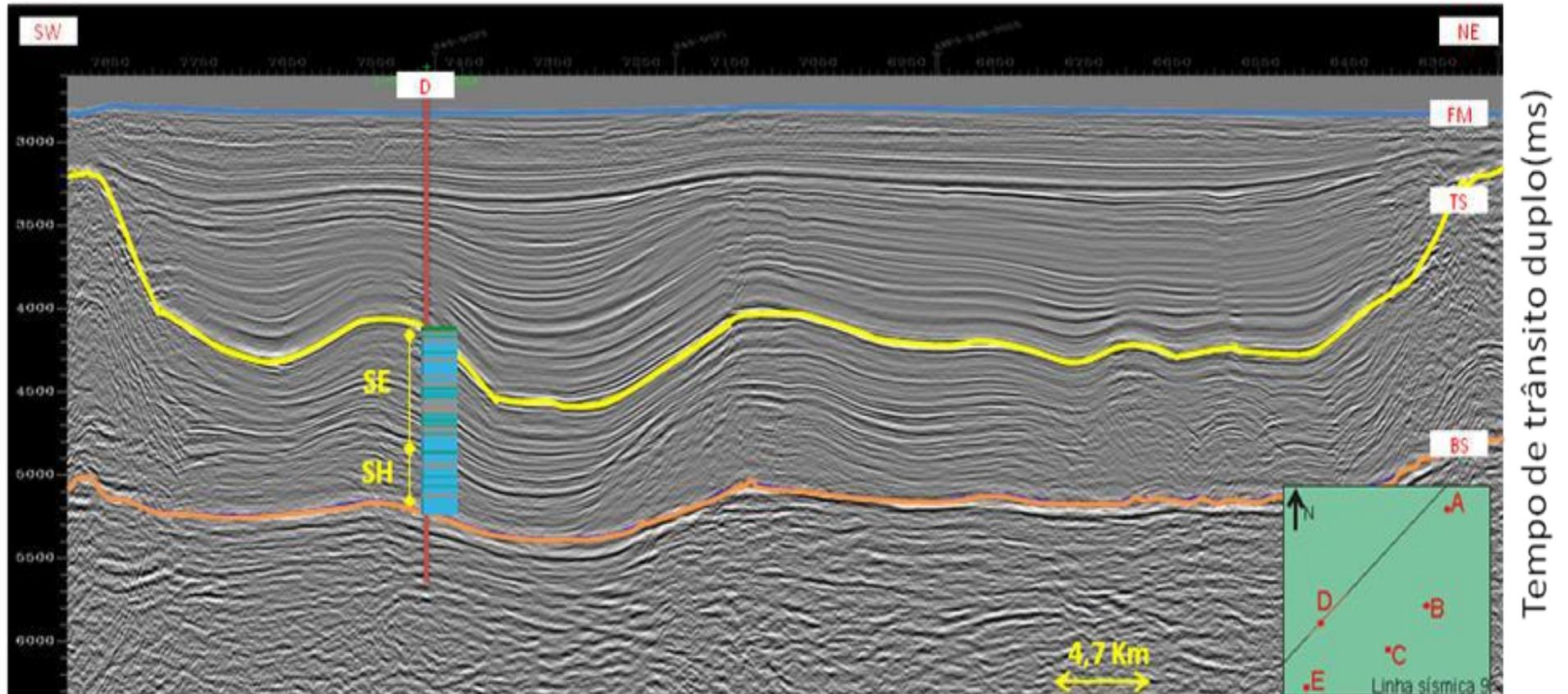


Figura 15 – Linha sísmica 9. Observam-se padrões deposicionais do sal, tendo da base para o topo: uma espessa camada homogênea de sal (SH), seguida por uma camada estratificada (SE). Os horizontes identificados foram definidos na Figura 14.

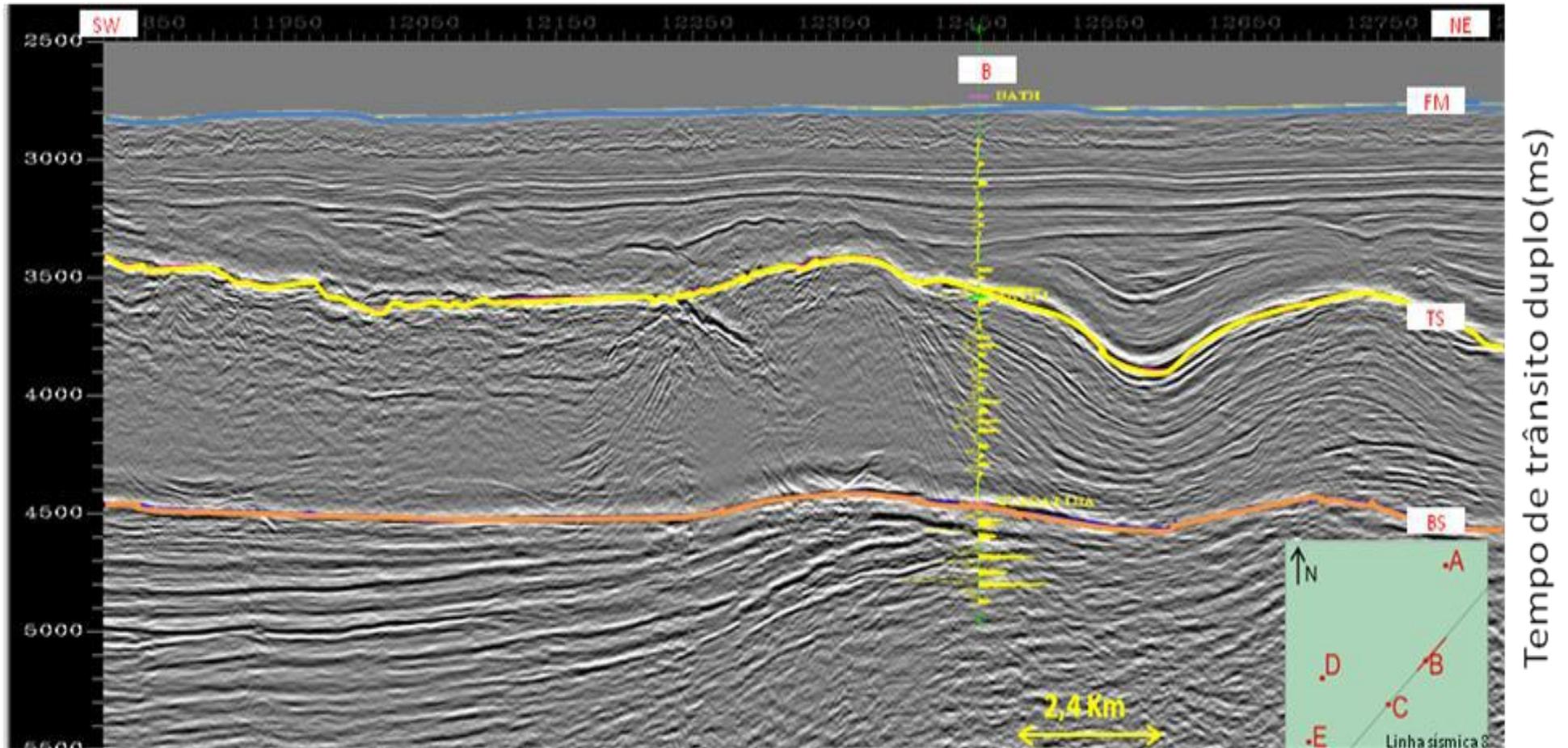


Figura 16 – Amarração entre o sismograma sintético do poço B na linha sísmica 8, observa-se a correlação entre as reflexões e as camadas estratificadas (silvita e carnalita). Os horizontes identificados foram definidos na Figura 14.

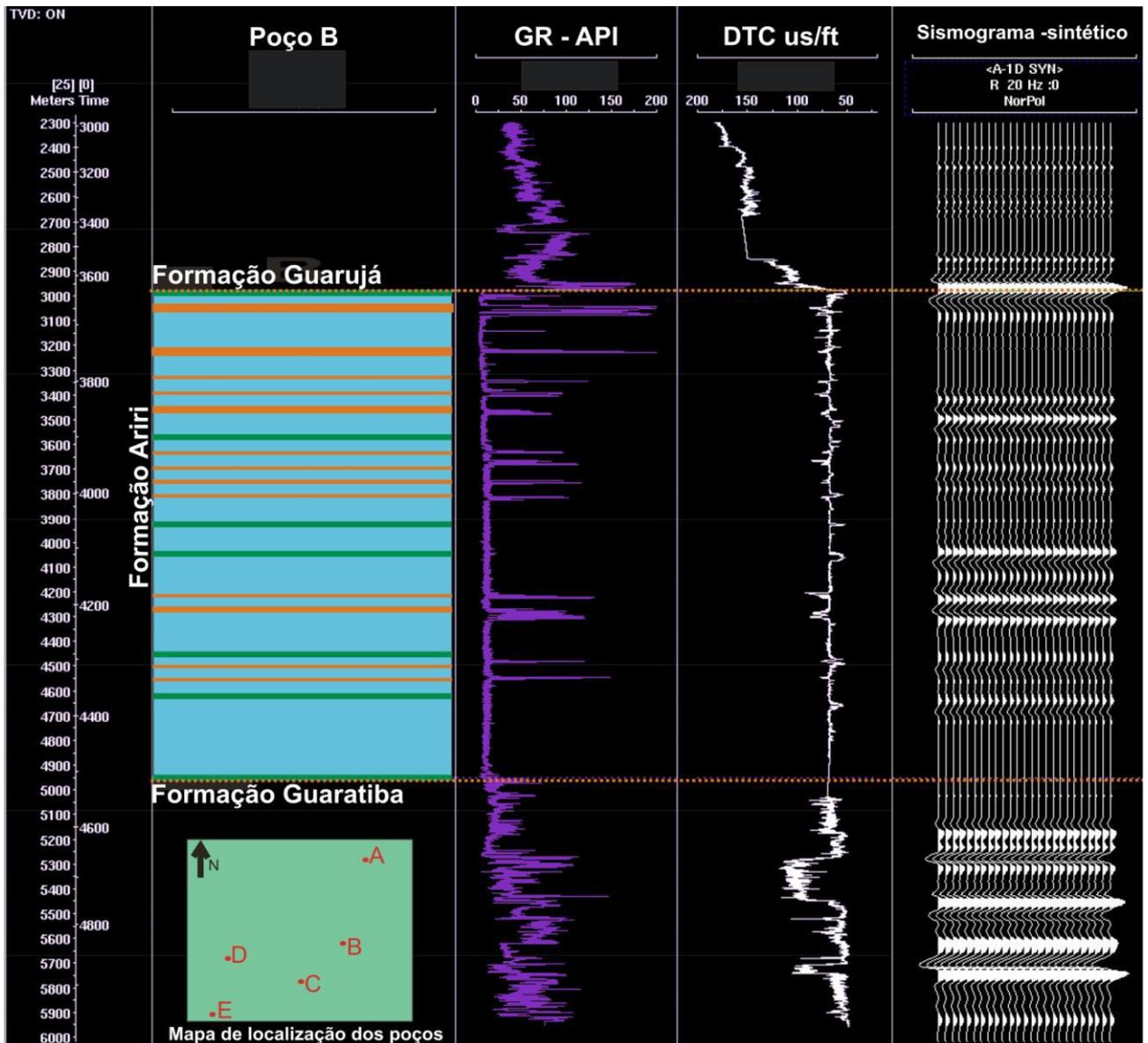


Figura 17 – Correlação entre as litologias identificadas, perfis de Raios Gama, sônico compressivo e sismograma sintético, identificando as reflexões nas camadas dos sais radioativos (silvita e carnalita) no poço B (TUPI - 1\_BRSA\_369A\_RJS).

## 6.2 Efeitos da halocinese

A alta mobilidade da halita, em seu comportamento quase fluido, pode ser observada no pacote evaporítico através da sismica. Dentro de uma mesma bacia evaporítica, podem ser observadas diferentes estruturas halocinéticas (Figura 18) como, por exemplo, almofadas, domos de sal, cicatriz de sal, falhas de crescimento e muralhas de sal.

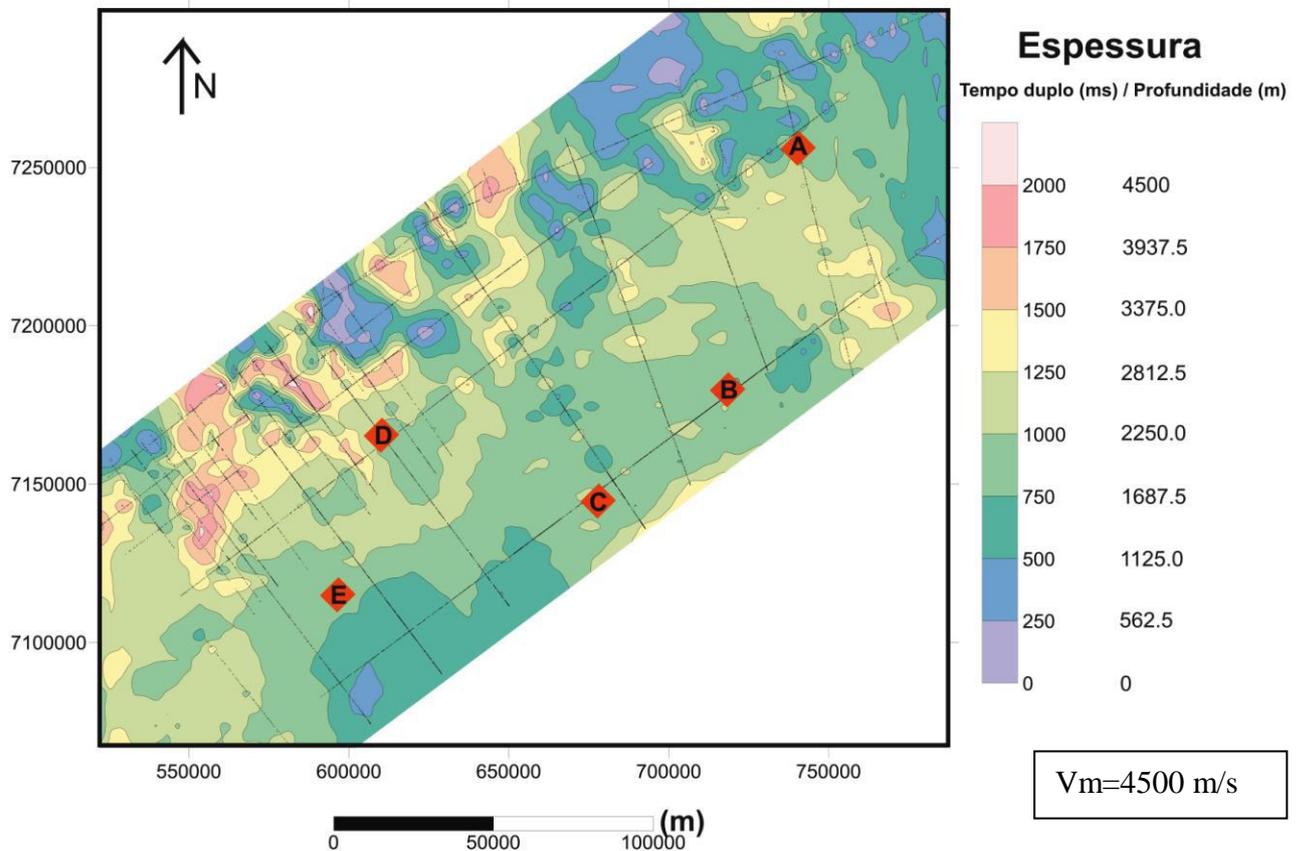


Figura 18 – Mapa de isópacas em tempo duplo do intervalo do estudo (Fase Transicional), obtido através do mapeamento sísmico, mostrando as linhas sísmicas utilizadas, a localização dos poços (A a E) e as diferentes espessuras observadas numa seção evaporítica. Para a conversão da escala de tempo em profundidade utilizou-se a velocidade média do evaporito de 4500 m/s. Observam-se as muralhas de sal (poços B, C e E) além de diápiros e almofadas de sal (A e D)

Em geral as camadas estratificadas são observadas e preservadas em locais onde não ocorreu uma expressiva mobilidade do sal, já que essa mobilidade pode por vezes destruir as feições deposicionais originais. As estratificações raramente são encontradas no interior de domos e almofadas de sal, que são locais para onde ocorreu a “fuga” da halita dando um aspecto maciço para a camada quando observado em seções sísmicas. Sendo os flancos dos diápiros as melhores feições geomorfológicas para a preservação das estratificações. (Figuras 19 e 20).

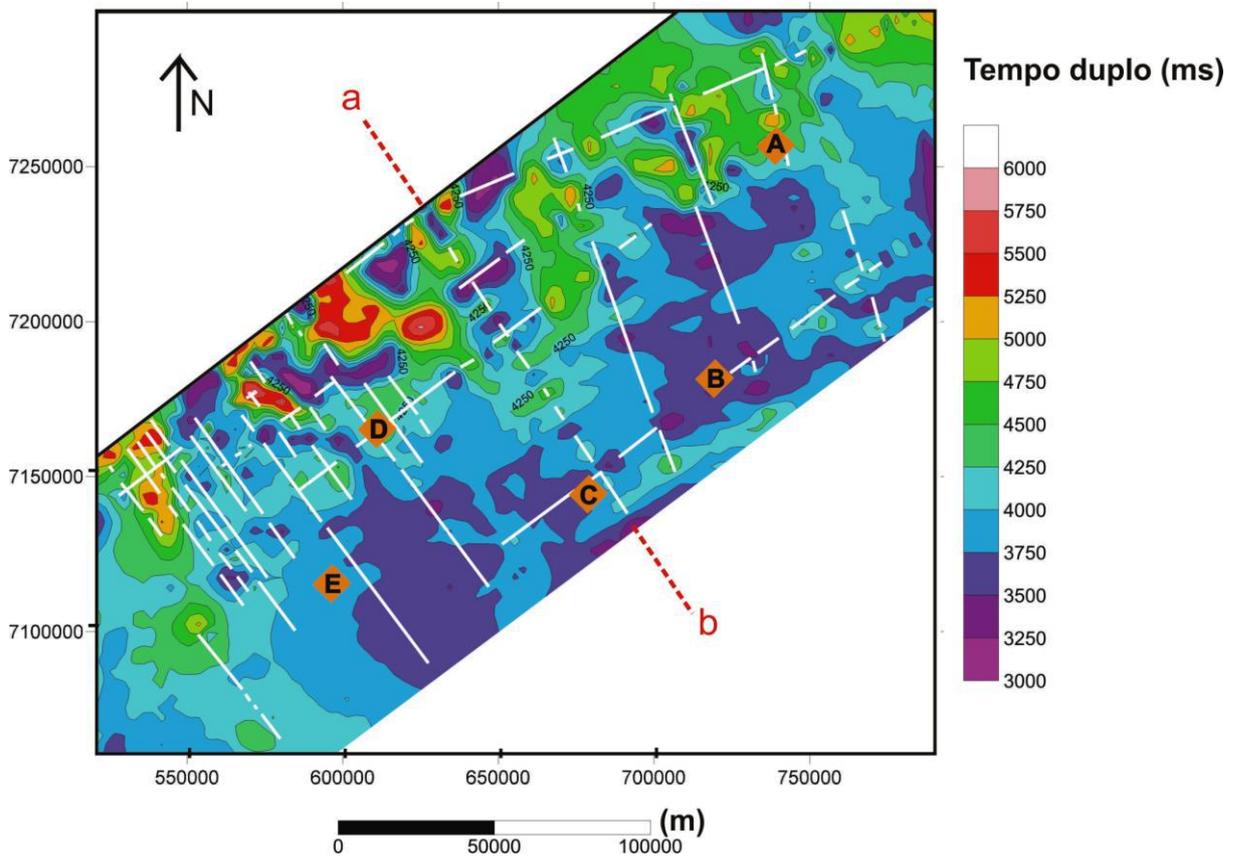


Figura 19 – Mapa de contorno estrutural do topo da camada de sal, obtido através do mapeamento sísmico no qual se utilizou o nível do mar como um nível de referência (ou datum). As linhas em branco representam um mapeamento horizontal sobre as linhas sísmicas, indicando as áreas onde são encontradas as camadas de sais estratificados, não sendo observadas, por exemplo, nos domos de sal (segmento a-b).

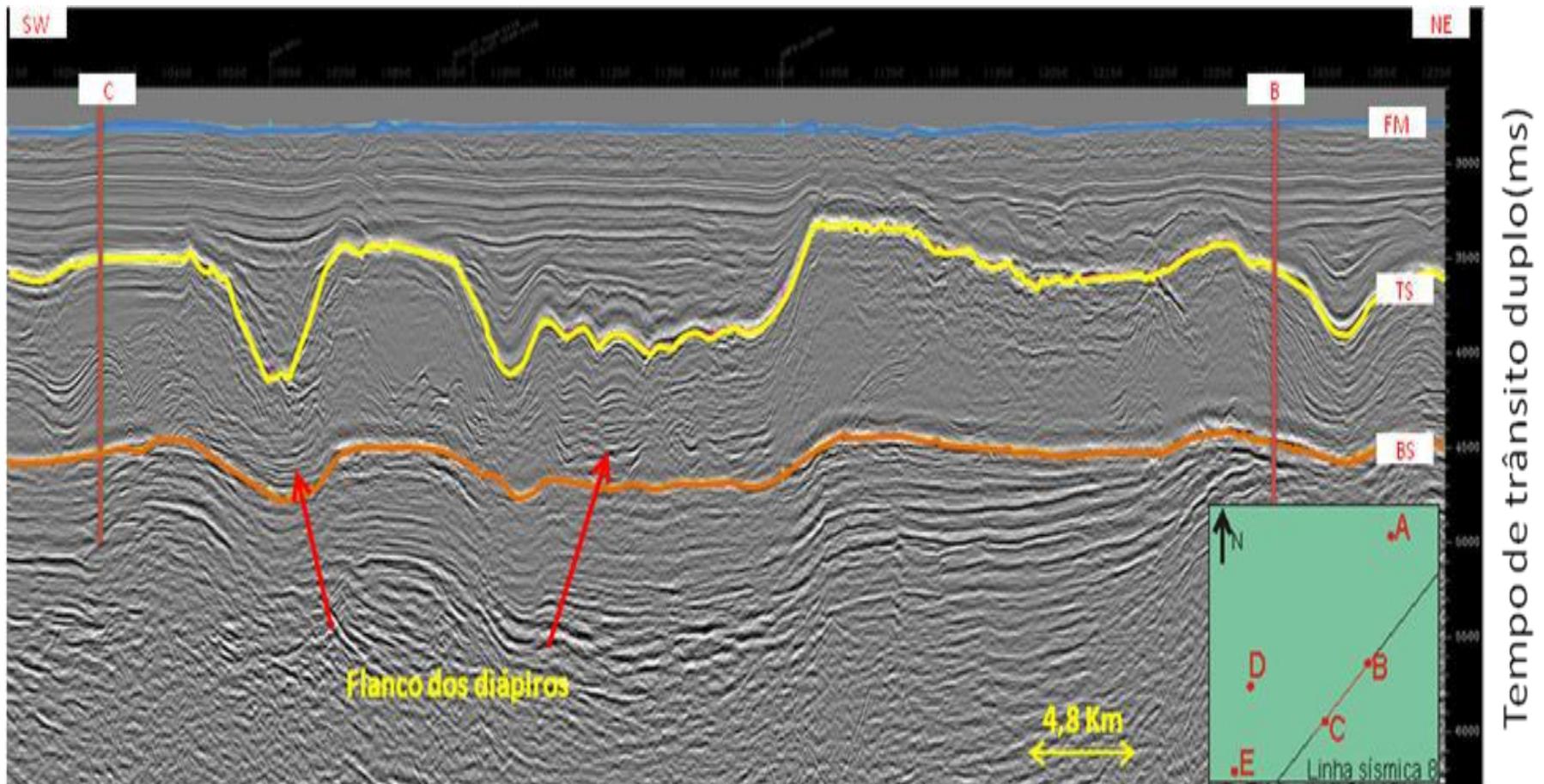


Figura 20 – Linha sísmica 8. Observa-se que as estratificações são preservadas nos flancos dos diápiros e destruídas dentro do diápiro. Os horizontes identificados foram definidos na Figura 14.

## 7 CONCLUSÕES

Para a deposição dos evaporitos é necessário uma grande taxa de evaporação encontrada somente em lâminas de água pequenas.

Podem-se observar de 4 a 7 ciclos deposicionais nos poços estudados iniciado com a anidrita seguido de halita, carnalita e silvita. Segundo Mohriak (2008), os sais estratificados, caracterizados pela presença de silvita e carnalita precipitaram quando o ambiente atingiu o grau máximo de aridez, relacionado ao baixíssimo volume de água no sistema e a altíssima taxa de evaporação.

Os primeiros movimentos halocinéticos na bacia de Santos, podem inicialmente ter contribuído para a geração de novos espaços, iniciando novos ciclos de deposição. A deposição do sal gerou gradativamente uma diminuição do espaço favorecendo novamente a deposição dos evaporitos radioativos (silvita e carnalita; alto potássio). Este ciclo deposicional vai se repetindo ao longo de toda a espessa camada evaporítica.

Conclui-se, que tenha ocorrido uma alternância entre a entrada de água no sistema (em pequenos volumes), e a deposição dos evaporitos durante a fase transicional da bacia de Santos. Segundo Mohriak (2008) podendo estar diretamente relacionada com fases de incursões marinha alternados com a contínua formação da barreira formada pela Dorsal de São Paulo e pelo Alto de Florianópolis.

Todos esses fatores estariam associados também a constante criação de espaço gerado pela subsidência térmica e movimentos halocinéticos que estavam ocorrendo na bacia.

A continuidade dos movimentos halocinéticos, com expressividade cada vez maior devido à progradação experimentada pela bacia durante o Neocretáceo, fez com que as características deposicionais originais fossem apagadas do registro geológico em altos estruturais como nos domos e almofadas de sal.

Através da sísmica observou-se que o registro deposicional permaneceu preservado em locais onde há halocinese não atuou fortemente como nos flancos dos diápiros.

Conclui-se que entender melhor o real modelo de precipitação e tectônica dos evaporitos das bacias marginais brasileiras é um fator de grande importância, já que está diretamente ligado ao melhor entendimento sobre a evolução da formação do oceano Atlântico Sul.

## Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL -  
<http://www.anp.gov.br/>

ASSINE, M. L. 2001. Evolução do Conceito de sequência. Separata de: Ribeiro, Helio J. P. S. (Ed.). *Estratigrafia de Sequências: Fundamentos e Aplicações*. São Leopoldo/RS, Unisinos. 2001. Capítulo 2, p.9-25

DIAS, J. L. 2005. Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. Separata de: *B. Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 7-25, 2005.

HONGXING, G; VENDEVILLE, B.C. 1997. Influence of active subsalt normal faults on the growth na location of suprasalt structures; *Gulf Coast Association of Geological Societies Transaction*; V.XLIII.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3. ed. Australia: Ed. Blackwell Science, 262 p.

LAWVER, L. A.; DALZIEL, I. W. D.; GAHAGAN, L. M.; KYGAR, R. M; HERBER, B.D. PLATES 2004: Atlas of plate reconstructions (750 Ma to Present Day). *Plates Progress Report*, University of Texas Institute for Geophysics, v. 191, 108 p. 2004

LIMA, K. 2005. Utilização de métodos sísmicos, Perfilagem e testemunhos de poços para caracterização de turbiditos da Formação Urucutuca na Bacia de Almada (BA). 2005. 146f. Tese de doutorado, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Macaé-RJ,

MARTINS, J. L. Noções do método sísmico e de Resolução sísmica: Unisinos, 2001. Separata de: Ribeiro, Helio J. P. S. (Ed.). *Estratigrafia de Sequências: Fundamentos e Aplicações*. São Leopoldo/RS, Unisinos. 2001. Capítulo 4, p.43-70

MODICA, C. J; BRUSH. E. R. Postrift sequence stratigraphy paleogeography, and fill history of the deep-water Santos basin, offshore southeast Brazil. *AAPG Bulletin*, v.88, n.7, p.923-945, 2004.

MOHRIAK, W. U. Salt tectonics in Atlantic-type sedimentary basins: Brazilian and West African perspectives applied to the North Atlantic margin. In: 25 th ANNUAL BOB F PERKINS RESEARCH CONFERENCE: PETROLEUM SYSTEM OF DIVERGENT CONTINENTAL MARGIN BASINS, 2005 Houston, *Resumos...*Texas, p.375-413.

MOHRIAK. W; SZATMARI. P; ANJOS. S. M. C.; *Sal: Geologia e Tectônica, exemplos nas Bacias Brasileiras*. 1. ed São Paulo: Ed Beca, 2008. 448p.

MOREIRA, J. L. P; MADEIRA, C. V; GIL, J. A; MACHADO, M. A. P. 2007. Bacia de Santos. Separata de: *B. Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 531-549, 2007.

NUNES, C. V.; VIVIERS, M. C.; LANA. C. C. 2004. Bacia de Santos, *Fundação paleontológica Phoenix*, Recife, n.6.

RAJA GABAGLIA, G. P; FIGUEIREDO, A. M. F.; de Evolução dos conceitos acerca das classificações de bacias sedimentares: PETROBRAS, 1991. Separata de: Raja Gabaglia, G. P. & Milani, E. J. (Ed.), *Origem e evolução das bacias sedimentares*. PETROBRAS, Rio de Janeiro, pp. 31-45.

TEARPOCK, D. J; RICHARD, E. B.; *Applied Susurface Geologiacl mapping*: 1991. ed United State of America: Ed. Prentice-Hall, 1991, 648p.