



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**INJECTITOS. CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÃO
COM FEIÇÕES ENCONTRADAS NAS BACIAS DO RECÔNCAVO E
SERGIPE-ALAGOAS.**

por

Pedro Felipe Costa Moreira

Trabalho Final de Curso
(Bacharelado em Geologia)

**UFRJ
Rio de Janeiro
2010**



UFRJ

Pedro Felipe Costa Moreira

**INJECTITOS. CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÃO COM FEIÇÕES
ENCONTRADAS NAS BACIAS DO RECÔNCAVO E SERGIPE-ALAGOAS**

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 Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Ismar de Souza Carvalho, DSc.
Jorge Carlos Della Favera, DSc.

Rio de Janeiro

Julho de 2010

PEDRO, Moreira

Título: Injectitos. Conceitos, características e associação com feições encontradas nas bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas / Pedro Moreira

Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2010.

70 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2010.

Orientador(es): Ismar de Souza Carvalho, Jorge C. Della Favera
1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Ismar de Souza Carvalho. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Pedro Felipe Costa Moreira

INJECTITOS. CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÃO COM FEIÇÕES
ENCONTRADAS NAS BACIAS DO RECÔNCAVO E SERGIPE-ALAGOAS

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
Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Ismar de Souza Carvalho, DSc.
Jorge Carlos Della Favera, DSc.

Aprovada em: 29 de Julho de 2010

Por:

Orientador: Ismar de Souza Carvalho, DSc (UFRJ)

Prof. Leonardo Borghi, DSc (UFRJ)

Paulo Dal-Cere, BSc (Sonangol Starfish Oil & Gás)

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

Agradecimentos

Agradeço ao professor Jorge Carlos Della Favera, meu orientador e grande mentor desse trabalho, por toda atenção e paciência na confecção do mesmo.

Agradeço a empresa Starfish Oil & Gas, principalmente a todo corpo técnico do setor de geologia, por enriquecerem meu conhecimento, disponibilizarem os dados para elaboração desse trabalho, e pelo grande estímulo e ajuda, os quais foram fundamentais para a conclusão desta monografia.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”

Albert Einstein

RESUMO

MOREIRA, Pedro. **Injectitos. Conceitos, características e associação com feições encontradas nas bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas**, 2010. Rio de Janeiro, 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O conceito de arenitos remobilizados, injetando-se em rochas hospedeiras, adquiriu popularidade através do livro “*Sand Injectites: Implications for Hydrocarbon Exploration and Production*” (2007), no qual são descritos injectitos em uma série de campos de petróleo no Mar do Norte, comparando-os com afloramentos em diferentes bacias do mundo, e os promovendo a um novo tipo de *play* para a exploração de óleo e gás. Ocorrências semelhantes foram identificadas no Brasil ao longo do tempo, porém interpretadas de formas distintas. Areias remobilizadas da fase rifte, vem sendo caracterizadas como produtos primários de processos deposicionais, embora alguns exemplos, como o caso das areias maciças da Fácies Pitanga no Recôncavo, tenham sido reinterpretadas como remobilização *in situ*. O mesmo aconteceu com os arenitos de águas profundas, do Neocretáceo-Terciário, em seções marinhas de bacias brasileiras. Características incomuns foram interpretadas como novas fácies de processos de água profunda, em parte devido a pouca resolução sísmica e a visão reduzida propiciada pelos testemunhos. Afloramentos brasileiros da fase rifte, como alguns casos no Recôncavo e Sergipe-Alagoas, possuem semelhanças com descrições de outras localidades, onde são tratados como injectitos. No Mar do Norte os injectitos possuem importantes características de reservatório, boas permeabilidade e porosidade, contatos óleo-água bem definidos e pressão distribuída uniformemente por todo o campo, revelando excepcionais interconexões. Características semelhantes podem ser obtidas em seções marinhas brasileira, sendo assim importante estar atento ao conceito de injectitos na análise das mesmas. Por outro lado, feições de injeção reconhecidos na fase rifte das bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas apresentam más condições de reservatório, sendo consideradas “areias fechadas”, mas podendo ser encontrados “*sweet spots*”, que são “ilhas” de boa permo-porosidade, com boas propriedades de reservatório.

Palavras-chave: Injectitos; Areias remobilizadas; Mar do Norte; Recôncavo; Sergipe-Alagoas.

ABSTRACT

MOREIRA, Pedro. **Injectitos. Conceitos, características e associação com feições encontradas nas bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas**, 2010. Rio de Janeiro, 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The concept of remobilized sandstones injecting into host rocks gained popularity by the book “Sand Injectites: Implications for Hydrocarbon Exploration and Production” (2007), in which injectites were described in a series of oil fields in North Sea, compared to different outcrops around the world. Therefore, injectites arose like a new play for hydrocarbon exploration and production. Similar occurrences have been described in Brazil throughout the times but using different meanings. Rift-phase remobilized sands have been described as products of primary depositional processes, although some examples of injection such as the Pitanga massive sandstones in the Recôncavo Basin, have been reinterpreted as in situ remobilization. The same happened to the Late Cretaceous and Tertiary deep-water marine sandstones in the Brazilian continental margin basins. Unusual features have been interpreted as new deep-water facies, due to bad seismic resolution and core narrowness. Brazilian rift-phase outcrops, like some cases in the Recôncavo and Sergipe-Alagoas, have similarities with descriptions of other localities where they are treated as injectites. North Sea injectites have very good reservoir properties such as good porosity and permeability, well-defined oil-water contacts and uniform pressure distribution throughout the field indicating exceptional interconnections. Similar characteristics can be obtained in marine sections in Brazil, so it is important to be aware of the concept of injectites in the analysis. On the other hand, injection characteristics recognized in the rift phase of Recôncavo and Sergipe-Alagoas basins present bad conditions of reservoir being considered tight sands, although “sweet spots” which are “islands” of good permeability and porosity with good reservoir properties, can also be found there.

Key-Words: Injectites; Remobilized sands; North Sea; Recôncavo; Sergipe-Alagoas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição geográfica de injectitos reconhecidos em bacias sedimentares, documentados por Hurst & Cartwright (2007) (pontos em vermelho), e descritos em outros trabalhos (pontos em verde) (modificado de Hurst & Cartwright, 2007).....	3
Figura 2 - Três tipos de intrusões de areias detectadas em sísmica 3D no Paleogeno do Mar do Norte: “Winglike”, Cônica (Conical), “Crestal” (Huuse <i>et al.</i> , 2007).	4
Figura 3 - Intrusão Cônica de grande amplitude no Eoceno ao sul do Viking Graben (Mar do Norte) (Hurst & Cartwright, 2007).....	6
Figura 4 - Padrão de ocorrência de injectitos baseado em sísmica e afloramentos (Hurst & Cartwright, 2007).	9
Figura 5 - Seção esquemática indicando o padrão de ocorrência de injectitos no Campo de Balder (Bacia do Mar do Norte) (Briedis <i>et al.</i> , 2007).....	11
Figura 6 - Imagem de testemunhos retirados do Campo de Balder (Mar do Norte), indicando a injeção de areia em folhelhos. Notar o aspecto brechado do folhelho e a diferença de estratificação interna entres as duas litologias. Alguns poços são direcionais, as setas indicam a direção do topo (Briedis <i>et al.</i> , 2007).....	12
Figura 7 - Desenho esquemático das estruturas injetadas tipo “mushroom” (cogumelo) no Membro Katedralen, em Katedralen, Bacia de Jameson Land (Surlyk <i>et al.</i> , 2007).	13
Figura 8 - Foto de afloramento do Membro Katedralen, indicando a injeção de areia em folhelho, formando uma estrutura tipo “mushroom” (cogumelo) (Surlyk <i>et al.</i> , 2007).	14
Figura 9 - Diques e soleiras formados pela injeção das areias nos folhelhos, no Membro Katedralen, Leste da Groenlândia (Surlyk <i>et al.</i> , 2007).....	15
Figura 10 - Foto panorâmica indicando a formação de dique e soleira, na injeção do Santa Margarita no folhelho Santa Cruz, Califórnia (Thompson <i>et al.</i> , 2007).	16
Figura 11 - Fragmentos de folhelhos dispersos dentro do injectito (Arenito Santa Margarita). Processo provavelmente mecânico durante a injeção no Folhelho Santa Cruz (Thompson <i>et al.</i> , 2007).	17
Figura 12 - Fragmentos de folhelhos dispersos dentro do injectito na Bacia de Santa Cruz. Notar como alguns clastos são finos e moderadamente angulosos. (Thompson <i>et al.</i> , 2007).	17
Figura 13 - Mapa geológico esquemático com a localização do Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (Magnavita, 1992).	18
Figura 14 - Seção geológica esquemática, ilustrando a morfologia de meio-graben da bacia do Recôncavo (Milhomem <i>et al.</i> , 2003).....	19
Figura 15 - Limites e arcabouço estrutural atual da Bacia do Recôncavo (Santos, 1988 <i>in</i> Milhomem <i>et al.</i> , 2003).....	20
Figura 16 - Modelo de rifteamento duplo para o Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (Magnavita, 1992 <i>in</i> Magnavita <i>et al.</i> , 2005). (a) Distensão E-W durante o rifteamento inicial; (b) Distensão NW-SE durante o rifteamento final (Magnavita <i>et al.</i> , 2005).	21
Figura 17 - Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo, proposta por Caixeta (1993).	27

Figura 18 - Bloco diagrama representativo do ambiente deposicional. 1-Planície aluvial entrelaçada; 2-Corpos Fluviais fluidizados por diapirismo; 3-Diápiro; 4-Canal de subfluxo (<i>underflow</i>) sublacustre; 5-Leque sublacustre residual (sigmóides); 6-Leque sublacustre bacial; 7-Leque aluvial subaéreo; 8-Área de interferência entre leque aluvial e turbiditos; 9-Falha controladora da deposição marginal... 28	
Figura 19 - Esquema indicando o processo de formação da Fácies Pitanga, por remobilização e injeção, desde sua configuração original. 29	29
Figura 20 - Injeções de arenito pitangóide em folhelhos, na área de Caboto, Bacia do Recôncavo... 30	30
Figura 21 - Injeções seguindo um padrão <i>winglike</i> , de arenito pitangóide em folhelhos, na área de Caboto, Bacia do Recôncavo. 31	31
Figura 22 - Brecha autoclástica com fragmentos de folhelhos, formados em um processo de “trituração” mecânica durante a injeção. Caboto, Bacia do Recôncavo. 31	31
Figura 23 - Brecha com fragmentos de folhelhos, formadas <i>in situ</i> (Hurst & Cartwright, 2007). Notar a semelhança com a figura 21 referente ao Recôncavo. 32	32
Figura 24 - Areia injetada em areia, formando um padrão na forma de O)I(O, em Botelho, Bacia do Recôncavo. 33	33
Figura 25 - Padrão na forma de O)I(O. Notar o aspecto “cerebróide”, que passa a ocorrer no arenito (acinzentado) que esta sofrendo injeção. Botelho, Bacia do Recôncavo. 33	33
Figura 26 - Seção sísmica SW-NE na área de Guanambi. Notar as feições típicas de <i>winglike</i> 35	35
Figura 27 - A) Testemunho de arenito maciço, sem estrutura (Hurst & Cartwright, 2007); B) Testemunho do Arenito Pitanga, maciço, do poço 1-SC-1-BA. 36	36
Figura 28 - Comparação de fácies de injectitos em testemunhos. A) Testemunho do campo de Socorro, referente ao Membro Pitanga. Notar o padrão de escape de água (fluidização) sub-vertical e fragmentos de argila gerados por cominuição (Klein <i>et al.</i> , 1972); B) Testemunho do Campo de Balder (Mar do Norte), indicando escape de água (fluidização) (Briedis <i>et al.</i> , 2007). 37	37
Figura 29 - Mapa de localização da Bacia de Sergipe Alagoas (Souza Lima <i>et al.</i> , 2002). 38	38
Figura 30 - Arcabouço Estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas(Lana, 1990). 40	40
Figura 31 - Seção geológica esquemática, indicando o arranjo estrutural e as seqüências sedimentares das sub-bacias de Sergipe e Alagoas (Van der Vem, 1988 <i>in</i> Aquino & Lana, 1989)... 47	47
Figura 32 - Carta estratigráfica da sub-bacia de Sergipe, proposta por Feijó (1993). 48	48
Figura 33 - Carta estratigráfica da sub-bacia de Alagoas, proposta por Feijó (1993). 49	49
Figura 34 - Injeção de areia em areia, formando um padrão de remobilização. Formação Barra de Itiuba na cidade de Penedo (AL). 51	51
Figura 35 - Mesma figura anterior, indicando a formação de padrão na forma de O)I(O, semelhante ao Recôncavo. Notar as linhas fluxo, as flexões, e a “chaminé” (CH) de escape de material fluidizado.. 51	51
Figura 36 - Processo de injeção de areias remobilizadas em areias com festões (F) de grande porte. É possível observar a “chaminé” (CH) de injeção formando um padrão de dique. Penedo, Bacia de Sergipe-Alagoas. 52	52

Figura 37 - Arenito maciço, gerado por remobilização. Cidade de Penedo, Bacia de Sergipe-Alagoas	53
Figura 38 - a) Remobilização e início de processo de injeção em sedimentos do Aptiano no Morro de Camaragibe; b) Progresso da remobilização, dobramentos, e cominuição dos folhelhos e ritmitos associados. Morro de Camaragibe, Bacia de Sergipe-Alagoas.	54
Figura 39 - a) e b) Pseudo-nodulos com aspecto brechado, isolados por um contínuo processo de dobramento e injeção, em Morro de Camaragibe, Bacia de Sergipe-Alagoas.....	54
Figura 40 - Seção Sísmica W-E (A) interpretada (B), indicando um possível injectito com feição sísmica do tipo cônica, associado a sedimentos da Formação Calumbi (Santoniano – Terciário), área de São Cristovão (SE).....	56
Figura 41 - <i>Time slices</i> de seção sísmica ao sul do Viking Graben (Mar do Norte), a três profundidades, da base a zona mais superficial: 1380, 1440 e 1500 m (Huuse <i>et al.</i> , 2007).....	57
Figura 42 - <i>Depth Slice</i> , da seção sísmica apresentada na área de São Cristovão, Bacia de Sergipe-Alagoas, a 1160 m. A profundidade e a feição encontram-se destacados em amarelo.	58
Figura 43 - <i>Depth Slice</i> a 1208 m. Notar a marcante diferença de amplitude da feição. São Cristovão, Bacia de Sergipe-Alagoas.....	58
Figura 44 - <i>Depth Slice</i> a 1260 m, na base da feição. São Cristovão, Bacia de Sergipe-Alagoas.	59
Figura 45 - Comparação de fácies de injectitos em testemunhos. A) Testemunho retirado do poço 1-CSM-0001-SE (Formação Calumbi) indicando fluidização, e fragmentos de folhelhos gerados por cominuição. B) Testemunho do Campo de Penguin (Reino Unido), indicando o mesmo padrão de fluidização e fragmentos de folhelho (Hurst & Cartwright, 2007).....	60
Figura 46 - Relação de permeabilidade x porosidade, entre areias “mães” de origem turbidítica (pontos azuis), e injectitos provenientes da mesma (pontos vermelhos) (Briedis <i>et al.</i> , 2007).....	61

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. METODO	2
4. MATERIAL	3
5. EXPRESSÃO DOS INJECTITOS	4
5.1 Expressão Sísmica de Injectitos	4
5.1.1 Intrusões <i>Winglike</i>	5
5.1.2 Intrusões Cônicas	6
5.1.3 Intrusões <i>Crestal</i>	7
5.1.4 Reflexões em forma de olhos	7
5.2 Expressão dos Injectitos em Superfície	7
6. EXEMPLOS E CARACTERÍSTICAS DOS INJECTITOS	10
6.1 Campo de Balder – Mar do Norte	10
6.2 Formação Hareelv – Leste da Groenlândia	13
6.3 Santa Cruz, Califórnia	15
7. INJECTITOS NA BACIA DO RECÔNCAVO	18
7.1 Arcabouço Estratigráfico	24
7.2 Ocorrência de Injectitos na Bacia do Recôncavo	28
7.2.1 Feições em Afloramentos	30
7.2.2 Feições em Sísmica	34
7.2.3 Análise de Testemunhos	36
8. INJECTITOS NA BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS	38

8.1 Arcabouço Estratigráfico	44
8.2 Ocorrência de Injectitos na Bacia de Sergipe-Alagoas.....	50
8.2.1 Feições em Afloramentos.....	50
8.2.2 Feições em Sísmica.....	55
8.2.3 Análise de Testemunhos.....	59
9. PROPRIEDADES DOS RESERVATÓRIOS	61
10. ORIGEM DOS INJECTITOS	63
11. CONCLUSÃO	67
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

Os injectitos são essencialmente arenitos que foram remobilizados por diferentes agentes e injetados, de uma rocha-fonte, em uma rocha encaixante, seguindo um padrão de diques e soleiras. Podem variar desde escalas centimétricas a quilométricas. As encaixantes são normalmente folhelhos, provenientes de depósitos sedimentares de águas profundas, porém a injeção de areia em outra areia também é possível. Apesar de seu conhecimento prévio através de diferentes interpretações dadas em outros trabalhos, este tipo de estrutura ganhou expressão a partir dos estudos apresentados por Hurst & Cartwright (2007). Como exemplo de descrições anteriores que podem ser associadas a feições de injectitos é possível citar o trabalho de Klein *et al.*(1972), na Bacia do Recôncavo, onde foram tratados como produtos de fluxos de gravidade em ambientes subaquáticos profundos. Posteriormente, Della Favera (1978) em um relatório interno da Petrobras, Della Favera (1984), Della Favera (2001) e Falcão & Della Favera (no prelo), consideraram-os como produtos *in situ* de deformação pela ação de terremotos, o que seria a base da dinâmica de injeção apresentada neste trabalho.

A importância do trabalho de Hurst & Cartwright (2007) foi destacar os injectitos como elementos especiais para a exploração e produção de petróleo e gás, em especial os injectitos que ocorrem no Mar do Norte (Noroeste da Europa), caracterizando-os como excelentes reservatórios.

Hurst & Cartwright (2007) mencionam a presença de injectitos na Bacia de Campos (Brasil), mas na realidade, esta ocorrência pode ser estendida a outras bacias da margem continental brasileira, como Santos, Espírito Santo, Camamu-Almada, Recôncavo e Sergipe-Alagoas.

2. OBJETIVO

Este trabalho propõe uma discussão acerca dos injectitos como elementos importantes na exploração e produção de óleo e gás, um tema ainda pouco tratado no cenário nacional, e fazer uma associação com feições encontradas nas bacias de Sergipe-Alagoas e Recôncavo. Tal aplicação pode estimular um olhar crítico e aguçado a respeito do conceito de “injectitos” na análise das bacias sedimentares da margem continental brasileira.

3. METODO

As etapas desenvolvidas para a realização deste trabalho compreenderam:

1 – Levantamento bibliográfico: Foram utilizados artigos publicados a respeito das bacias de Sergipe-Alagoas e Recôncavo, e outros específicos que tratam do tema “Injectitos”, como o de Hurst & Cartwright (2007).

2 – Dados de Campo: Foram utilizadas descrições e imagens, de afloramentos, adquiridas em atividade de campo realizada pela empresa Starfish Oil & Gas nas áreas de Caboto e Botelho, próximas à Baía de Todos os Santos (Bahia), na Bacia do Recôncavo, além de imagens e descrições de afloramentos situados nas áreas de Penedo e Morro de Camaragibe (Alagoas), Bacia de Sergipe-Alagoas.

3 – Seções Sísmicas e dados de poços: Essa etapa compreendeu interpretações sísmicas, através do software GeoGrafix, além da análise de perfis compostos e imagens de testemunhos disponíveis nas bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas. A localização das linhas sísmicas e dos perfis dos poços não é indicada no trabalho devido a restrições impostas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustíveis (ANP).

4. MATERIAL

As descrições e imagens de afloramentos referentes à Bacia do Recôncavo foram obtidas em atividade de campo realizada pela empresa Starfish Oil & Gas, já as imagens e descrições de afloramentos referentes à Bacia de Sergipe-Alagoas fazem parte de dados pessoais do Professor Jorge C. Della Favera. As linhas sísmicas e os dados de poços são de propriedade da empresa Starfish Oil & Gas e foram disponibilizados exclusivamente para realização desta monografia.

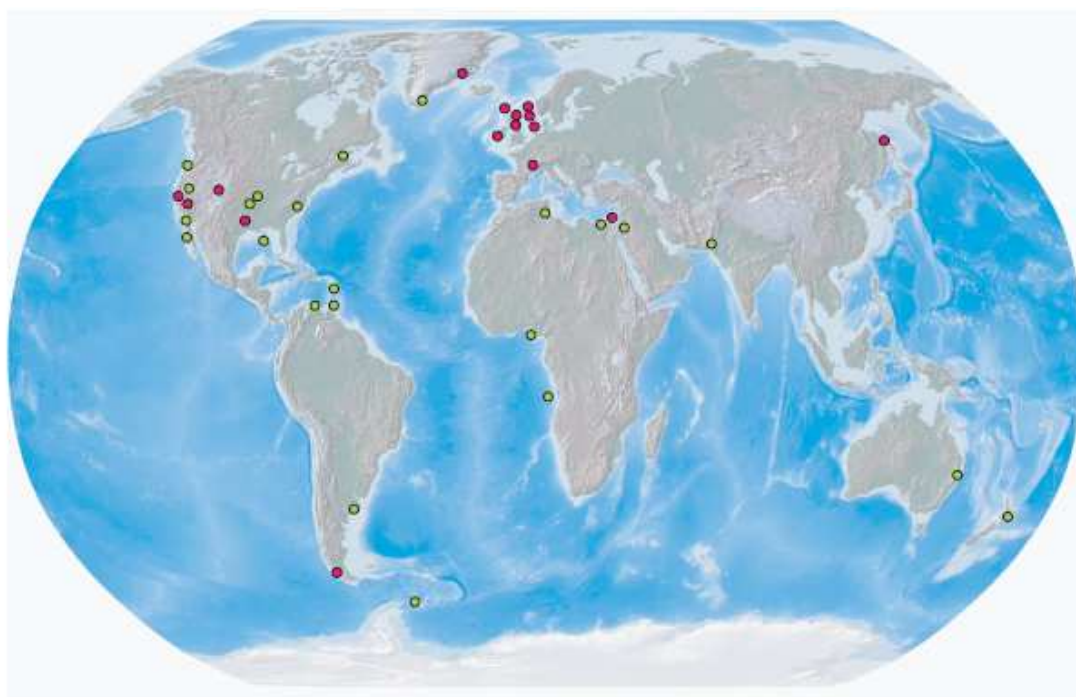


Figura 1 - Distribuição geográfica de injectitos reconhecidos em bacias sedimentares, documentados por Hurst & Cartwright (2007) (pontos em vermelho), e descritos em outros trabalhos (pontos em verde) (modificado de Hurst & Cartwright, 2007).

5. EXPRESSÃO DOS INJECTITOS

5.1 Expressão Sísmica de Injectitos

Na Bacia do Mar do Norte, injeções de areias são intrudidas como diques e soleiras, dependendo do ângulo de intrusão. Ângulos menores que 30° caracterizariam soleiras, enquanto que os diques se encontram em torno de 60° ou mais. Três tipos de intrusões foram identificadas de acordo com sua expressão sísmica (Figura 2): “winglike”, cônica e “crestal” (Huuse *et al.*, 2007). No Brasil, essas expressões de injectitos podem ser interpretadas em várias bacias como possivelmente os casos de Sergipe-Alagoas e Recôncavo, a serem tratados nesse trabalho.

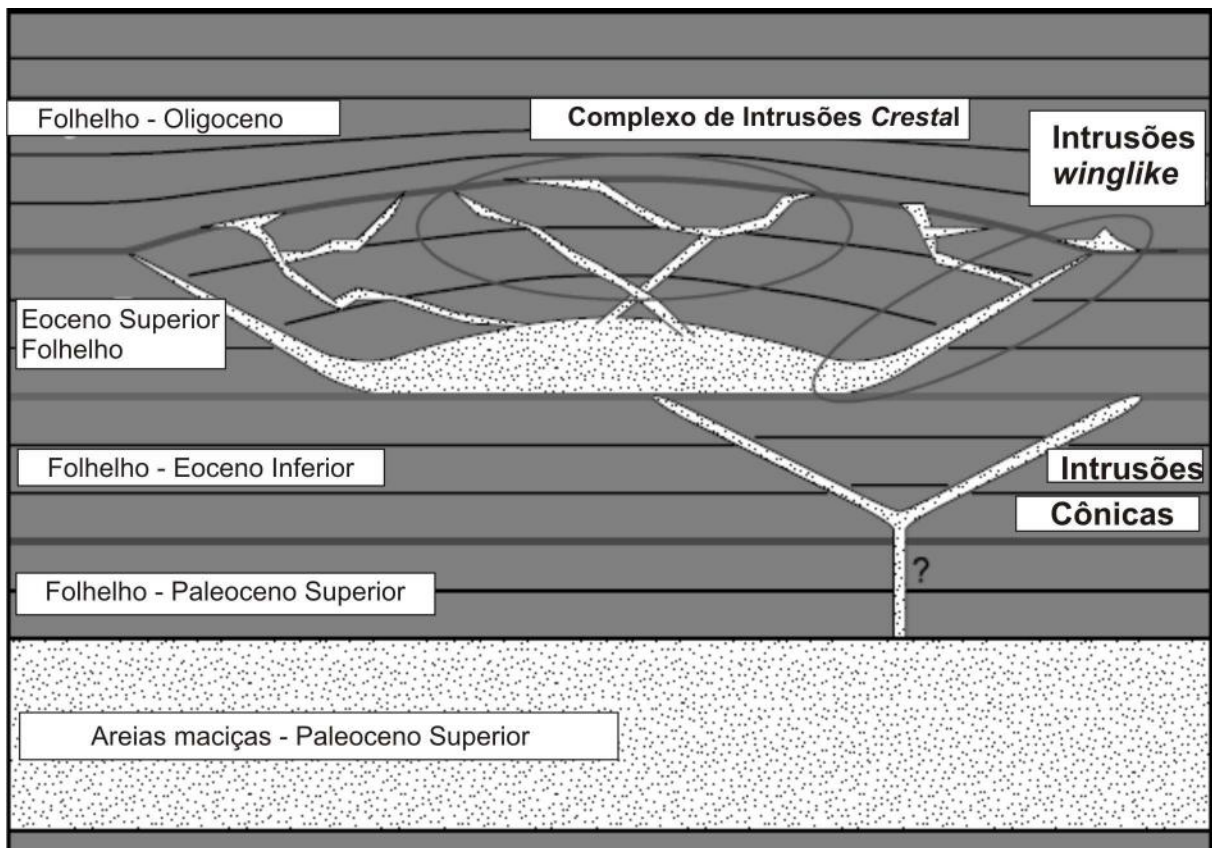


Figura 2 - Três tipos de intrusões de areias detectadas em sísmica 3D no Paleogeno do Mar do Norte: “Winglike”, Cônica (Conical), “Crestal” (Huuse *et al.*, 2007).

5.1.1 Intrusões *Winglike*

Esta expressão foi utilizada pela primeira vez por Surlyk *et al.* (2007), como invasões de areia (principalmente soleiras) na Bacia de Jameson Land (leste da Groenlândia), que emanavam lateralmente a partir de arenitos que preenchiavam valas na Formação Hareelv (Jurássico Superior). Estes corpos, em forma de soleiras, foram interpretados como sendo produzidos por injeção lateral de areia durante o preenchimento dessas valas. Diques finos também são relativamente abundantes na área.

No subsolo, as injeções tipo *winglike* foram relatadas pela primeira vez por Huuse *et al.* (2007), em Moray Firth na Bacia do Mar do Norte, nos flancos do campo Alba (Eoceno). Características semelhantes a esta foram também observadas em outras localidades como reflexões discordantes, inclinadas em algumas dezenas de graus em relação ao acamamento.

As intrusões *winglike* observadas na Bacia do Mar do Norte possuem dezenas de metros de espessura, ocorrendo em encostas íngremes. As intrusões podem variar de 10 a 40 m verticalmente e se estender continuamente de 1 a 5 km ao longo do limite com a rocha fonte, dependendo do tamanho do corpo e alterações posteriores por falhamentos poligonais. A distância lateral em relação à rocha fonte, da injeção, pode ser superior a 1 km.

A inclinação da *winglike* varia tipicamente de 10 a 35°. Dependendo da fase de compactação, o ângulo de intrusão pode ser mais acentuado, alcançando 60°, permitindo a classificação como diques, e não soleiras (Figura 2).

5.1.2 Intrusões Cônicas

Essas intrusões apresentam um padrão no formato de “V” em reflexões sísmicas (Figura 3). Essas formas se apresentam discordantes e geralmente com grandes amplitudes sísmicas. Possuem um formato circular ou poligonal a partir de uma visão aérea e feição cônica ou piramidal em seções sísmicas.

As intrusões cônicas podem variar de 0,5 a 2 km de extensão, com espessuras variando de 10 a 50 m.

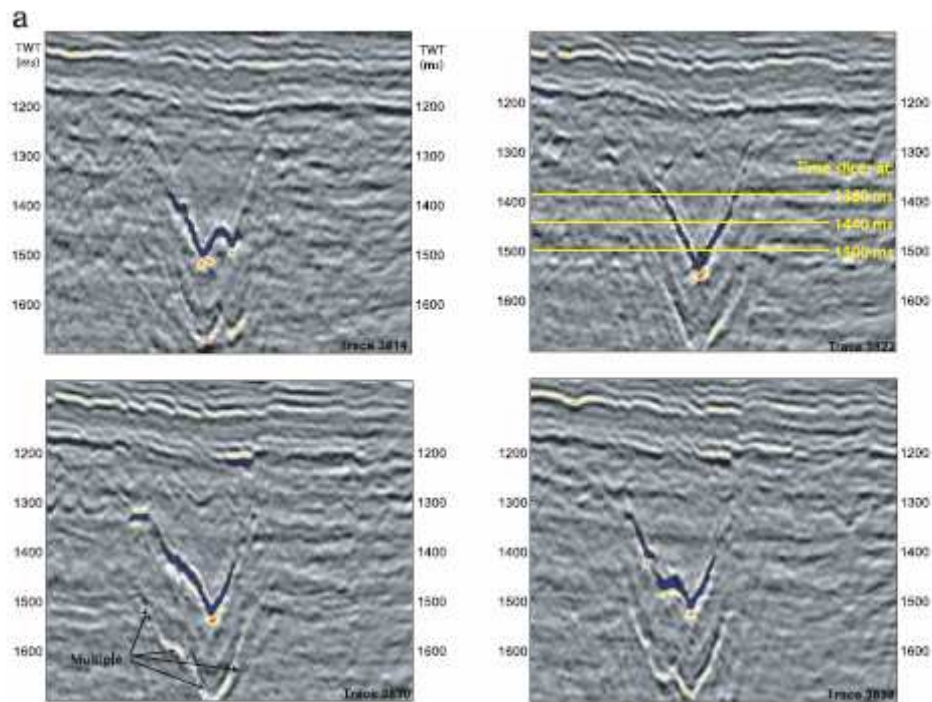


Figura 3 - Intrusão Cônica de grande amplitude no Eoceno ao sul do Viking Graben (Mar do Norte) (Hurst & Cartwright, 2007).

5.1.3 Intrusões *Crestal*

Esse tipo de intrusão ainda não possui uma clara identificação em sísmica 3D, mas pode formar uma região de grandes amplitudes sísmicas, e são importantes por criarem uma conexão entre zonas isoladas de um reservatório (Figura 2).

5.1.4 Reflexões em forma de olhos

Este tipo de reflexão é característico dos arenitos Pitanga, e tem sido reconhecido desde o início dos anos sessenta na Bacia do Recôncavo. De acordo com Falcão & Della Favera (no prelo), as reflexões em forma de olhos, poderiam ser interpretadas como resultado das circunvoluções produzidas pelas injeções, que caracteriza a fácies “cerebróide”.

5.2 Expressão dos Injectitos em Superfície

Os afloramentos relacionados à injectitos indicam um padrão de ocorrência que divide-se em três tipos básicos, são eles:

- Injeções paralelas ou subparalelas ao plano dos estratos do corpo rochoso, atingindo até 30°, sendo assim denominadas “Soleiras”.
- Injeções de alto ângulo, próximo de 90°, denominadas “Diques”
- Injeções transversais com direções aleatórias.

A figura 4 mostra um padrão geral da ocorrência de injectitos baseado em estudos sísmicos e análise de afloramentos. As letras destacadas representam:

a e b) Corpos de areia afetados, em diferentes graus, por injeções. Em “b” ocorre um processo mais intenso, já que é alimentado por diques sub-verticais a partir de areias que se encontram a um nível abaixo.

c) Complexo de diques e soleiras desenvolvidas a partir de “b”.

d) Soleiras inclinadas que podem se desenvolver ao longo de falhas poligonais.

e) Grandes e irregulares corpos intrusivos, com acentuadas margens laterais.

f) Feições de baixo ângulo, soleiras, que podem ser recobertas por pequenos complexos de diques-soleiras.

g) Extrusões de areia, formando feições de vulcões.

h) Caminhos que podem ser formados por injectitos, que permitem o escoamento de gás até o fundo marinho, formando *pockmarks*.

i) Intrusões Cônicas, formadas geralmente em associação com falhas poligonais.

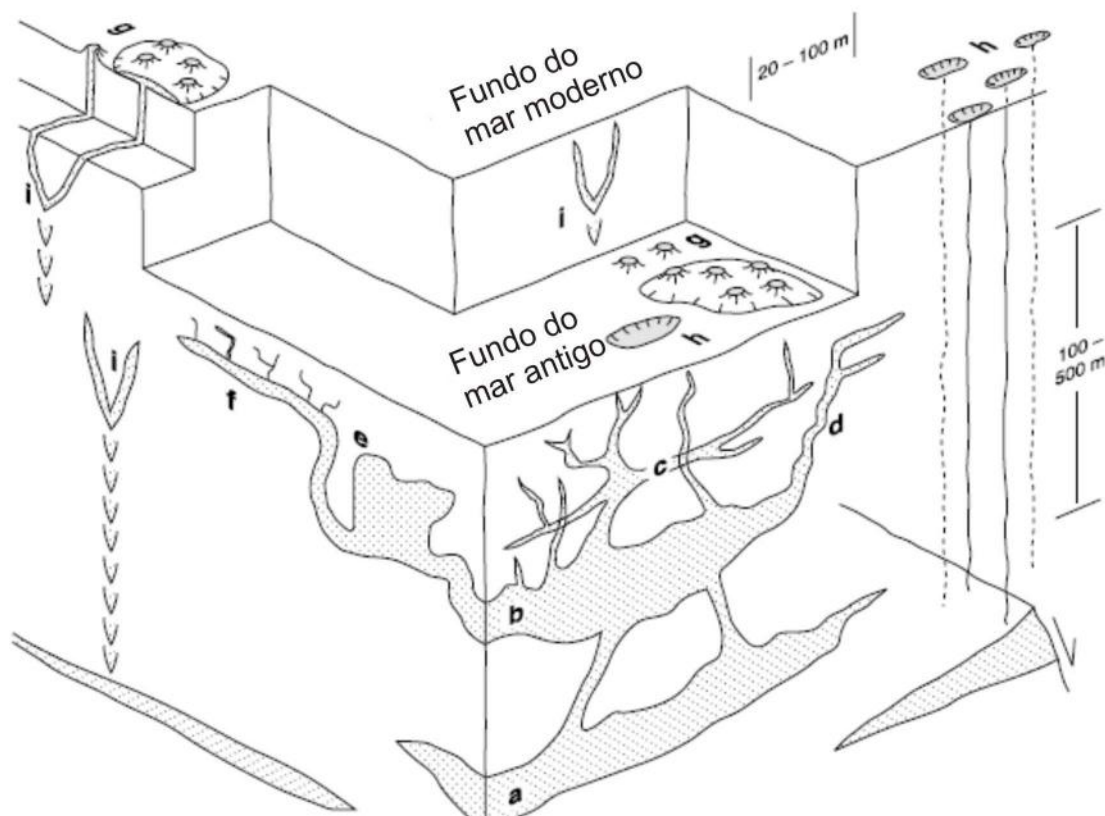


Figura 4 - Padrão de ocorrência de injectitos baseado em sísmica e afloramentos (Hurst & Cartwright, 2007).

No decorrer deste trabalho serão dados exemplos de ocorrência de injectitos, que poderão ilustrar sua configuração em afloramentos.

6. EXEMPLOS E CARACTERÍSTICAS DOS INJECTITOS

As características de areias remobilizadas e “injetadas” podem ser ilustradas a partir de exemplos práticos. Alguns exemplos desta ocorrência estão no Campo de Balder no Mar do Norte (Briedis *et al.*, 2007), Groenlândia (Surlyk *et al.*, 2007) e Califórnia (Thompson *et al.*, 2007).

6.1 Campo de Balder – Mar do Norte

Este caso exemplifica a importância do conceito de injectitos na exploração e produção de óleo e gás, e como a elaboração de modelos baseados em sua ocorrência pode auxiliar este processo.

Os reservatórios arenosos do Campo de Balder, na Bacia do Mar do Norte, estão relacionados a depósitos de águas profundas (Paleoceno ao início do Eoceno) gerados por fluxos gravitacionais e selados por sedimentos hemipelagicos e tufos vulcânicos. Esse sistema tem sido alterado por remobilizações pós-deposicionais de areias e injeções. A princípio, essas areias remobilizadas e injetadas não foram consideradas significativas, mas posteriormente foi constatada sua grande ocorrência na área, e assim passaram a ser tratadas como um fenômeno comum que poderia afetar a exploração e produção de óleo e gás.

De acordo com Briedis *et al.* (2007), para entender a ocorrência deste complexo sistema de injeções de areia, foi necessário criar um “modelo de campo total” baseado em afloramentos análogos de outras regiões, amostras de testemunho, e a sísmica 3D.

O estudo de afloramentos análogos permitiu a divisão dos injectitos em três categorias: injeções transversais de ocorrência aleatória em todas as direções,

injeções paralelas aos estratos (soleiras), e injeções de alto ângulo (diques) (Figura 5).

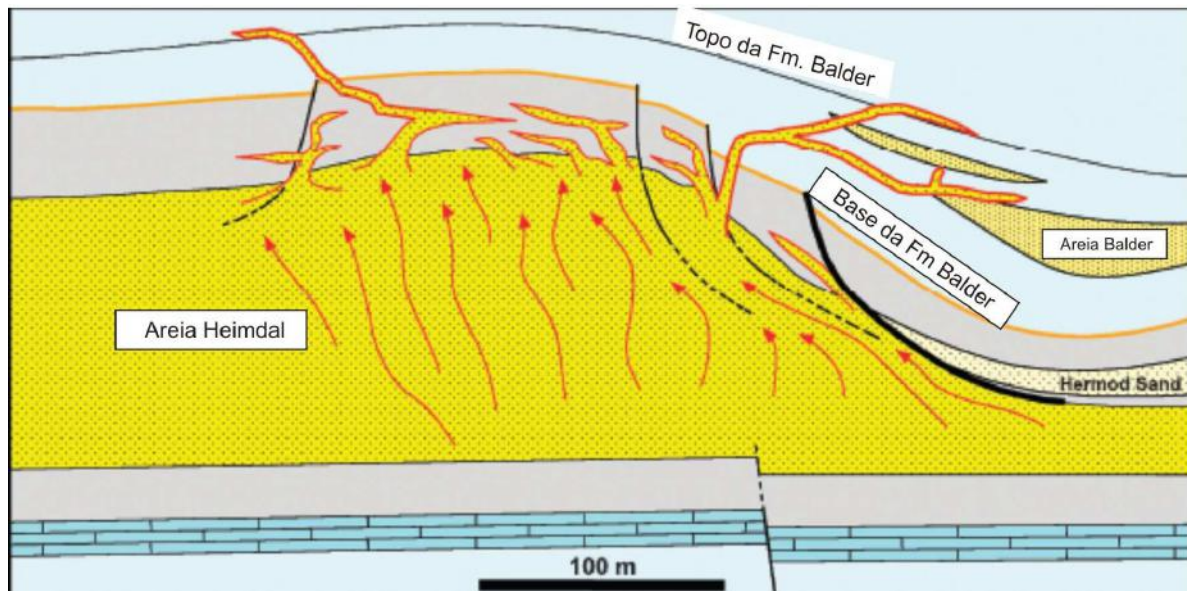


Figura 5 - Seção esquemática indicando o padrão de ocorrência de injectitos no Campo de Balder (Bacia do Mar do Norte) (Briedis *et al.*, 2007)

A análise de testemunhos permitiu a identificação de mais de 150 focos de ocorrência de injeção, e tornou possível estimar uma espessura que varia de centímetros até 11 metros para esses corpos injetados (Figura 6).

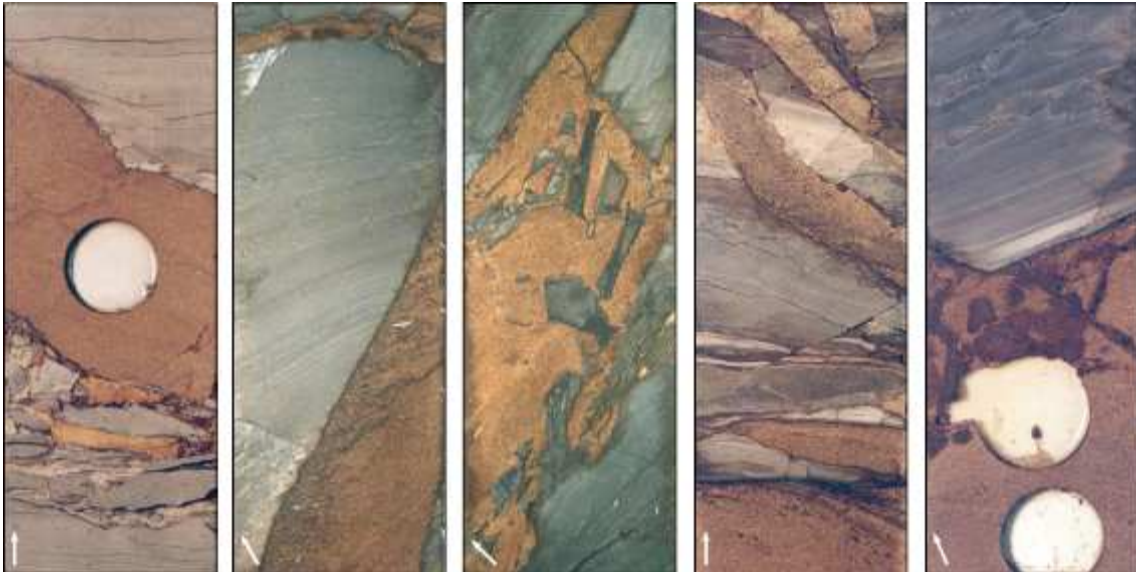


Figura 6 - Imagem de testemunhos retirados do Campo de Balder (Mar do Norte), indicando a injeção de areia em folhelhos. Notar o aspecto brechado do folhelho e a diferença de estratificação interna entre as duas litologias. Alguns poços são direcionais, as setas indicam a direção do topo (Briedis *et al.*, 2007).

Os dados sísmicos forneceram, além de dados já constatados em testemunhagens, como espessura e orientação, uma visão mais abrangente do sistema, permitindo a criação de um modelo de ocorrência para a região.

Briedis *et al.* (2007) destacam que os injectitos são de grande importância no campo de Balder por conectar reservatórios que estariam isolados verticalmente ou lateralmente por dezenas ou centenas de metros, já que essas areias geradas por fluxos gravitacionais tem um caráter amalgamado.

A etapa de produção na área mostrou um padrão de pressão para os reservatórios, corroborando com a idéia de interconectividade entre os mesmos.

6.2 Formação Hareelv – Leste da Groenlândia

A Formação Hareelv (Jurássico Superior) na Bacia de Jameson Land (leste da Groenlândia) é um complexo gigante de injeção, estudado por Surlyk *et al.* (2007). Trata-se de uma bacia rifte, na qual um sistema de falhas de escorregamento, composto por canais cheios de areia, é a fonte principal de injectitos. Eles ocorrem no Membro Katedralen, Formação Hareelv. Todas as areias no canto superior do Membro Katedralen teriam sido remobilizadas e posteriormente injetadas no folhelho vizinho, rico em matéria orgânica, e praticamente todas as estruturas sedimentares primárias foram destruídas. As feições de “cogumelos” (Figuras 7 e 8) que ocorrem na área, podem ser relacionadas aos “olhos” do Membro Pitanga (Bacia do Recôncavo).

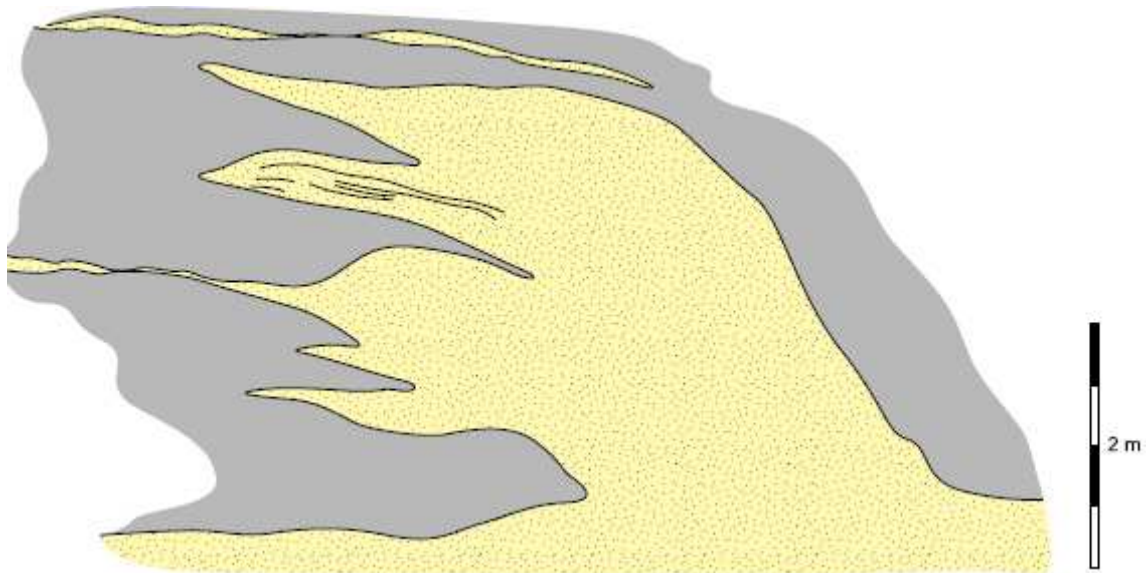


Figura 7 - Desenho esquemático das estruturas injetadas tipo “mushroom” (cogumelo) no Membro Katedralen, em Katedralen, Bacia de Jameson Land (Surlyk *et al.*, 2007).



Figura 8 - Foto de afloramento do Membro Katedralen, indicando a injeção de areia em folhelho, formando uma estrutura tipo “mushroom” (cogumelo) (Surlyk *et al.*, 2007).

Os arenitos ocorrem de forma espessa, com seu corpo praticamente sem estrutura, e podem se estender lateralmente, com formas tipo “*mounded*”, ou como massas em forma de bacia. Diques e soleiras de pequeno porte são onipresentes, com sua geometria variando de ortogonais ou poligonais a formas extremamente irregulares, refletindo a injeção das areias nos folhelhos com diferentes graus de consolidação (Figura 9). Lajes de folhelho e fragmentos de todos os tamanhos ocorrem no arenito e podem ser facilmente confundidos com clastos transportados por fluxos gravitacionais. No entanto, essas feições são formadas por escavações e fendas no folhelho durante a injeção forçada de areia fluidizada.



Figura 9 - Diques e soleiras formados pela injeção das areias nos folhelhos, no Membro Katedralen, Leste da Groenlândia (Surlyk *et al.*, 2007).

6.3 Santa Cruz, Califórnia

O complexo de Yellow Bank Creek (Califórnia), Mioceno superior da Bacia de Santa Cruz, é considerado por Thompson *et al.* (2007) um injectito. A rocha de onde se originou a areia injetada é o Arenito Santa Margarita, que é caracterizado como um depósito de plataforma. A rocha impermeável que sela esse depósito é o folhelho Santa Cruz na qual as areias foram injetadas (Figura 10).

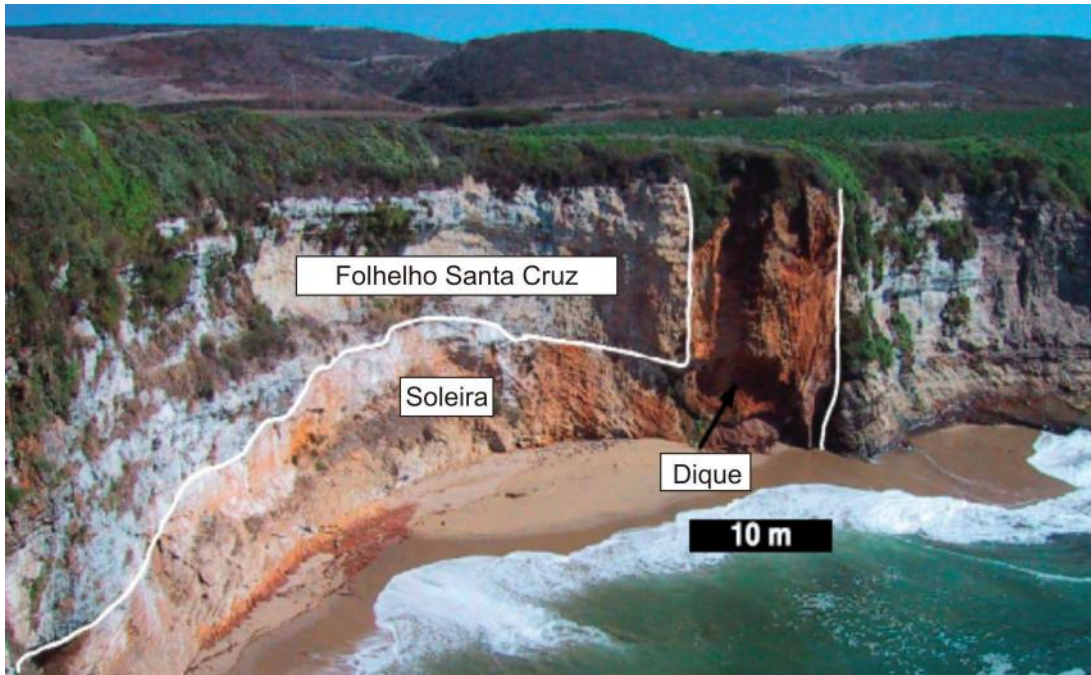


Figura 10 - Foto panorâmica indicando a formação de dique e soleira, na injeção do Santa Margarita no folhelho Santa Cruz, Califórnia (Thompson *et al.*, 2007).

Alguns afloramentos na Bacia de Santa Cruz indicam clastos angulosos da rocha hospedeira (Folhelho Santa Cruz) dentro do arenito injetado (Santa Margarita) (Figuras 11 e 12). Esses clastos não devem ser interpretados como tendo sido depositados por fluxos gravitacionais, mas possivelmente como um processo mecânico de “trituração”, e assimilação dos fragmentos da rocha hospedeira, durante o processo de injeção da areia.

Algumas evidências sugerem que a injeção e cimentação ocorreram a uma profundidade relativamente rasa de soterramento.

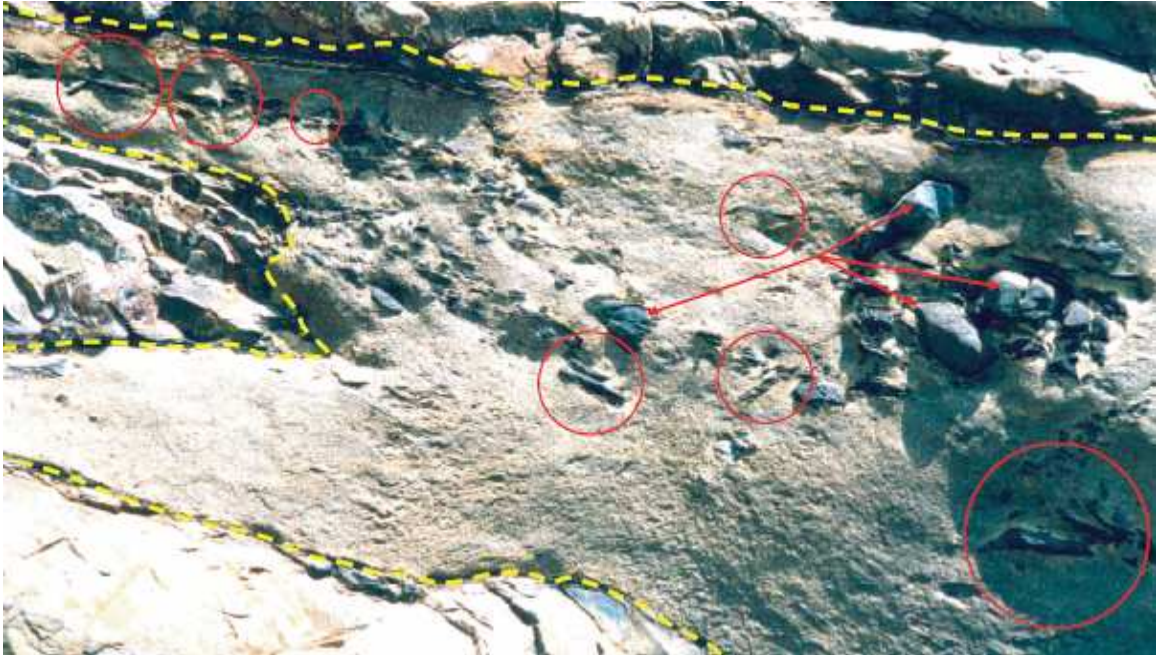


Figura 11 - Fragmentos de folhelhos dispersos dentro do injectito (Arenito Santa Margarita). Processo provavelmente mecânico durante a injeção no Folhelho Santa Cruz (Thompson *et al.*, 2007).

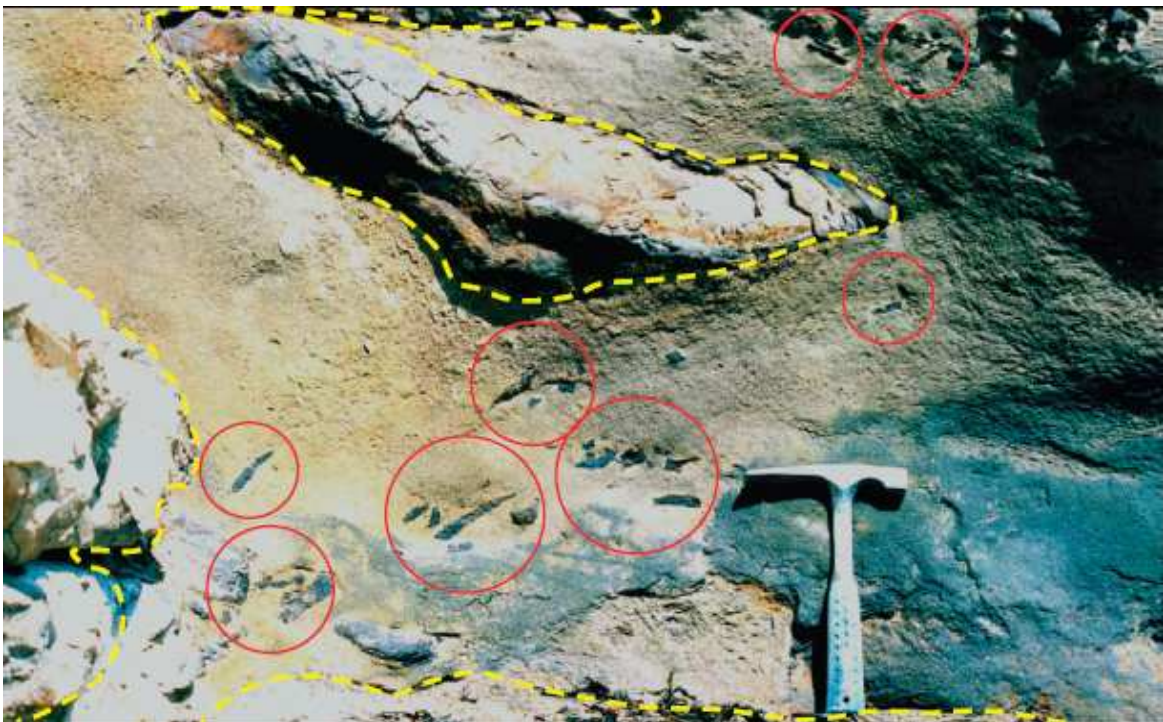


Figura 12 - Fragmentos de folhelhos dispersos dentro do injectito na Bacia de Santa Cruz. Notar como alguns clastos são finos e moderadamente angulosos. (Thompson *et al.*, 2007).

7. INJECTITOS NA BACIA DO RECÔNCAVO

Com uma área de aproximadamente 11.500 km², a Bacia do Recôncavo situa-se no estado da Bahia, no Nordeste brasileiro, entre os paralelos 11°39" e 13°23" e os meridianos 37° 45" e 39° 3". Ela faz parte do rifte intracontinental Recôncavo-Tucano-Jatobá (Figura 13), formado no Eocretáceo no início da ruptura do paleocontinente Gondwana ocidental, e é caracterizada como um braço abortado do Atlântico Sul. Seus limites são dados pelo Alto de Aporá, a norte e noroeste, pela falha de Maragogipe, a oeste, pelo sistema de falhas de Salvador, a leste, e pelo sistema de falhas da Barra, a sul.



Figura 13 - Mapa geológico esquemático com a localização do Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (Magnavita,1992).

O arcabouço estrutural da Bacia do Recôncavo possui basicamente uma configuração estrutural definida por falhamentos normais planares, com direção preferencial N30°E, influenciando o mergulho regional das camadas para SE, em direção as áreas mais subsidentes (Figura 14). Ocorrem zonas de transferências com orientação N40°W, como a falha de Mata-Catu, que acomodam uma taxa de extensão diferenciada ao longo da bacia (Figura 15).

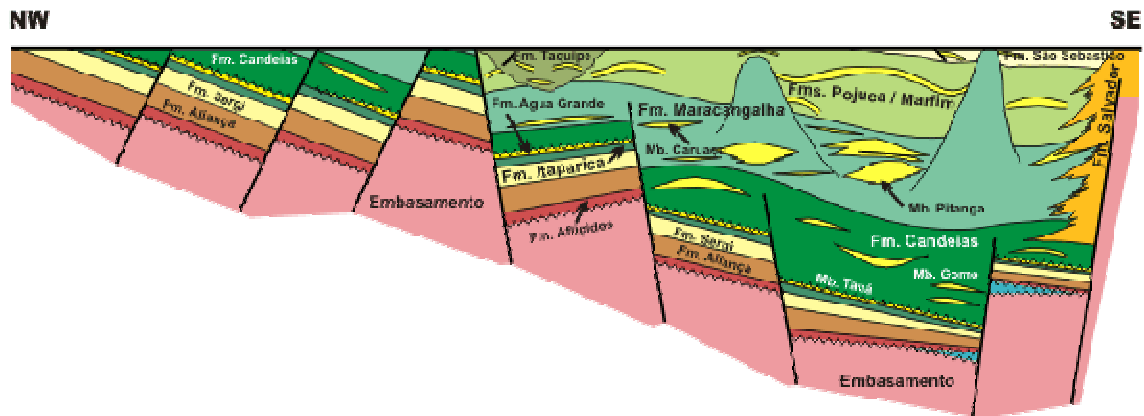


Figura 14 - Seção geológica esquemática, ilustrando a morfologia de meio-graben da bacia do Recôncavo (Milhomem *et al.*, 2003).



Figura 15 - Limites e arcabouço estrutural atual da Bacia do Recôncavo (Santos, 1988 *in* Milhomem *et al.*, 2003).

A Bacia do Recôncavo está relacionada ao rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá, que foi formado a partir do processo de abertura do Oceano Atlântico (Figura 16), e tem sido interpretada como um ramo abortado na margem leste brasileira. Estima-se que possua uma seção sedimentar preservada com espessura máxima de 6.900 metros, no Baixo de Camaçari. A seguir são apresentadas as fases de evolução tectono-sedimentar desta bacia.



Figura 16 - Modelo de rifteamento duplo para o Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (Magnavita, 1992 *in* Magnavita *et al.*, 2005). (a) Distensão E-W durante o rifteamento inicial; (b) Distensão NW-SE durante o rifteamento final (Magnavita *et al.*, 2005).

Sinéclise Intracratônica

Momento de arqueamento intracratônico da bacia, onde sob um clima árido foram depositados os sedimentos dos membros Pedrão e Cazumba, da Formação Afligidos.

Pré-Rifte

Esta fase, Juro-Cretácea, corresponde a um prolongado estágio de subsidência, onde se desenvolveu uma bacia intra-cratônica (Santos, & Braga, 1990). Foi depositada nesta fase a megassequência do continente, que está relacionada ao Grupo Brotas, composto pelos sedimentos das formações Aliança e Sergi, além das formações Itaparica e Água Grande, que fazem parte do Grupo Santo Amaro (Rio da Serra), e situam-se no topo desta sequência.

Rifte

Com o aumento da taxa de subsidência da bacia e uma brusca mudança climática, um sistema lacustre raso e anóxico passou a depositar folhelhos escuros do Membro Tauá da Formação Candeias (Santos & Braga, 1990).

Nessa fase começou a ocorrer o rompimento crustal da bacia, devido a esforços N30-40W (Milani & Davison, 1988 *in* Santos & Braga, 1990), e passou a se formar verdadeiras fossas tectônicas, que permitiram a implantação de um sistema de lagos profundos. Desenvolve-se a sedimentação do Membro Gomo (Formação Candeias), caracterizado por sedimentos argilosos com intercalação de carbonatos, e na zona mais subsidente da bacia, correntes de turbidez depositam arenitos intercalados a lamitos. Nesse estágio desenvolvem-se espessos pacotes de arenitos maciços, cuja origem está associada aos intensos abalos sísmicos gerados tanto nas bordas como no interior do rifte (Santos & Braga, 1990).

A subsidência da bacia aumenta, o rifteamento se torna mais intenso, e passa a ocorrer a deposição dos sedimentos da Formação Maracangalha, representados por folhelhos associados a espessas camadas de arenitos turbidíticos comuns nos blocos baixos das grandes falhas. Essas areias, associadas a novos pulsos sísmicos, dão origem aos arenitos maciços do Membro Pitanga (Santos & Braga, 1990), os quais podem atingir 1000 metros de espessura nas grandes depressões regionais. A estruturação e o basculamento da bacia, associados à sobrecarga exercida pelos depósitos gravitacionais, foram determinantes para o início do processo de argilocinese e o desenvolvimento de falhamentos lístricos sindeposicionais. Um sistema deltaico passa a progredir no final do Andar Rio da Serra, formando a sedimentação do Grupo Ilhas. No Andar Aratu a fisiografia da

bacia passa a assumir uma geometria de rampa, desenvolvendo um registro estratigráfico marcado por sucessões cíclicas de fácies deltaicas e seqüências pelíticas/carbonáticas lacustres da Formação Pojuca.

Na borda oeste da bacia, a reativação da Falha de Paranaguá, propiciou a escavação do Cânion de Taquipe, que posteriormente foi preenchido por folhelhos, siltitos e arenitos, depositados em um contexto de fluxos de turbidez e fluxo de detritos, caracterizando a Formação Taquipe (Amorim, 1992).

No Andar Buracica, tem início o assoreamento final da bacia, através de uma sedimentação fluvial que depositou os arenitos da Formação São Sebastião, esse contexto persiste até o final do Andar Jequiá.

A sedimentação conglomerática, oriunda de leques aluviais, que geraram a Formação Salvador, está relacionada à margem falhada da bacia (Sistema de Falhas de Salvador), que esteve atuante durante toda a seção rifte da bacia (Rio da Serra a Jequiá).

Pós-Rifte

Essa fase tem início no Andar Alagoas, e desenvolve uma sedimentação característica no sistema Recôncavo-Tucano-Jatobá. Magnavita *et al.* (2005) indicam que esse fato, pode manter relação com uma remoção de registro sedimentar por erosão regional, gerada por soerguimento ocasionado por magmatismo sub-placa, devido a anomalia térmica associada à abertura do Atlântico. No entanto, ao final do Andar Alagoas ocorrem os depósitos cretáceos mais jovens preservados na Bacia do Recôncavo, que são representados pelos sedimentos da Formação Marizal.

Uma ingressão marinha no Eomioceno depositou os folhelhos e calcários ricos em foraminíferos da Formação Sabiá (Petri, 1972 *in* Magnavita *et al.*, 2005). Finalmente, cobrindo esses sedimentos e boa parte da costa brasileira, ocorre a sedimentação de arenitos continentais (Plioceno – Pleistoceno) do Grupo Barreiras.

7.1 Arcabouço Estratigráfico

A seção sedimentar ocorre discordante a um embasamento Pré-Cambriano formado por gnaisses, granulitos e restos de metassedimentos brasileiros da Formação Estância.

De acordo com a Coluna Estratigráfica da Bacia do Recôncavo proposta por Caixeta *et al.* (1994), a sedimentação da bacia se dá a partir de uma sinéclise intracratônica, onde foram depositados os sedimentos da Formação Afigidos (Neopermiano), que é dividida em dois membros, Pedrão e Cazumba, o primeiro composto de arenitos de barras de maré e plataforma, resultado de um ciclo marinho regressivo, e o segundo de folhelhos vermelhos, lamitos e evaporitos, com raros arenitos intercalados, correspondentes a lobos de suspensão, turbiditos e tempestitos (Aguiar, 1990).

Na sequência pré-rifte depositam-se a Formação Aliança (Neojurássico), formada pelo Membro Boipeba, arenitos vermelhos e cinzas, de ambiente desértico, e o Membro Capianga, formado por folhelhos vermelhos de origem lacustre. Seguido da Formação Sergi (Neojurássico), caracterizada por arenitos grossos a conglomeráticos, e arenitos finos a médios, de ambientes desértico. As formações Itaparica (Eocretáceo) e Água Grande (Eocretáceo) preenchem a parte superior desta sequência, com folhelhos e siltitos, com pequenas intercalações de areias finas, relacionados a depósitos lacustres com incursões de sistemas fluviais, e

arenitos finos a grossos, com algumas intercalações de folhelhos, de ambientes desérticos respectivamente.

Com o aumento do tectonismo da bacia na fase rifte, que é separada do topo do pré-rifte por uma discordância significativa, passa a se formar um ambiente de lagos profundos. Neste contexto é depositada a Formação Candeias (Eocretáceo), que é dividida em Membro Tauá, formado por folhelhos cinza escuros, e folhelhos intercalados a calcarenitos e Membro Gomo, constituído de folhelhos cinza escuros, e folhelhos intercalados a calcarenitos e calcilutitos, de depósitos turbidíticos. Posteriormente ocorre a deposição da Formação Maracangalha (Valangiano – Eoaptiano) que é basicamente formada por folhelhos cinza esverdeados e cinza escuros diapirizados, e é subdividida em dois membros, Caruaçu e Pitanga, compostos por camadas lenticulares de arenitos finos a médios, gerados por correntes de turbidez, que ocorrem na sinclinal periférica dos diápiros, e arenitos finos, argilosos e maciços, com estruturas de escape de fluidos respectivamente. No final do andar Rio da Serra passam a ocorrer sedimentos da Formação Marfim, caracterizada por arenitos finos e siltitos, com fragmentos de carvão e folhelhos, de origem fluvio-deltáica.

De acordo com Silva (1993), a fisiografia da bacia passa a ter uma geometria de rampa ao tempo do andar Aratú, e sob um contexto que passar a ser definido por taxas de subsidência mais reduzidas e baixos gradientes deposicionais, passa a ocorrer os registros estratigráficos da Formação Pojuca (Hauteriviano – Neoaptiano), formados por arenitos finos a médios até silticos, folhelhos cinza, siltitos e calcarenitos ostracoidais, de origem fluvio-deltáica. Na borda oeste da bacia, com a escavação do cânion de Taquipe, folhelhos, arenitos, margas e calcarenitos ostracoidais, além de conglomerados são depositados, de acordo com Amorim

(1992), por fluxo de gravidade dentro deste cânion escavado, dando origem a Formação Taquipe (Eobarremiano).

O assoreamento da Bacia do Recôncavo termina com a deposição das fácies fluviais que caracterizam a Formação São Sebastião (Barremiano – Eoaptiano), que é subdividida em três membros, Paciência (inferior), Passagem dos Teixeiras (médio) e Rio Joanes (superior), constituídos de intercalações de arenitos grossos, friáveis, intercalados com siltitos e folhelhos.

Durante toda a fase rifte, conglomerados polimíticos, com seixos e matacões de rochas do embasamento, relacionados a leques aluviais, estiveram presentes na borda leste da bacia, dando origem a Formação Salvador (Cretáceo).

Na sequência pós-rifte, ocorre à deposição de sedimentos, em um contexto de subsidência termal (Aragão, 1994), da Formação Marizal (Eocretáceo), arenitos e conglomerados, além de siltitos, folhelhos e calcários, relacionados a leques aluviais e lagos restritos. Estes são os depósitos cretáceos mais jovens da bacia.

Sedimentos terciários na bacia estão relacionados à Formação Barreiras (Plio-Pleistoceno), composta de arenitos grossos a conglomeráticos intercalados com lamitos, relacionados a depósitos de leques aluviais, e a folhelhos cinza-esverdeados intercalados com areias finas e lentes de calcário ricas em foraminíferos da Formação Sabiá (Mioceno-Plioceno), estes últimos, de acordo com Petri (1972), oriunda de uma incursão marinha de idade miocênica.

7.2 Ocorrência de Injectitos na Bacia do Recôncavo

A ocorrência de injectitos na Bacia do Recôncavo está relacionada a feições encontradas nas fácies Pitanga e Pitangóide. Estas fácies ocorrem desde o compartimento central da área de Miranga, até a região das ilhas da Baía de Todos os Santos. Pertencem, em termos litoestratigráficos, aos sedimentos da Formação Maracangalha (membros Caruaçu e Pitanga), porém de acordo com J. C. Della Favera (informação verbal) podem ser encontradas ao longo de toda a fase Rife da bacia.

Essas fácies estão associadas a um talude deltaico de um lago tectônico, onde se desenvolviam fluxos hiperpicnais, cuja deposição se assemelha a de turbiditos (Figura 18).

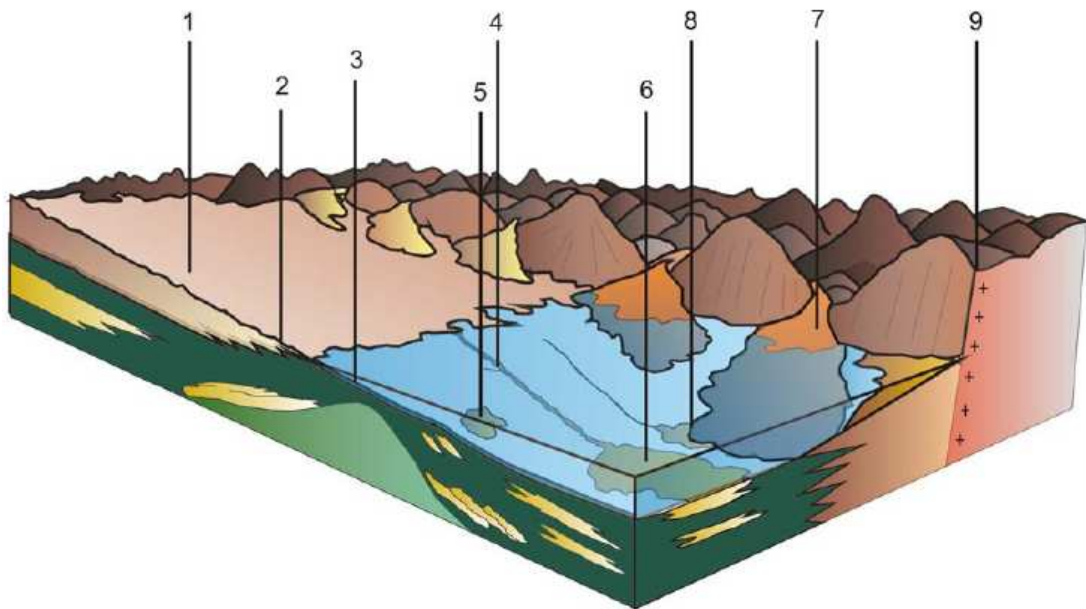


Figura 18 - Bloco diagrama representativo do ambiente deposicional. 1-Planície aluvial entrelaçada; 2-Corpos Fluviais fluidizados por diapirismo; 3-Diápiro; 4-Canal de subfluxo (*underflow*) sublacustre; 5-Leque sublacustre residual (sigmóides); 6-Leque sublacustre bacial; 7-Leque aluvial subaéreo; 8-Área de interferência entre leque aluvial e turbiditos; 9-Falha controladora da deposição marginal.

Klein *et al.* (1972) a partir de um estudo que contou com análise de testemunhos e afloramentos, caracterizou os arenitos Pitanga, originalmente conhecidos como “arenitos maciços”, como produtos de *slurry flows*, onde um fluxo pastoso congelaria no percurso entre as calhas deltaicas até os depocentros da bacia.

Della Favera (1978), em um relatório interno da Petrobras passou a dar nova interpretação para essas fácies, que foram corroboradas mais tarde em Della Favera (1984), Della Favera (2001), e posteriormente em Falcão & Della Favera (no prelo), passando a ser tratadas como produtos *in situ* de deformações geradas pela ação de terremotos. Quando essas areias não estão completamente homogeneizadas, guardando características do sedimento original, são informalmente chamadas de “Pitangóide”.

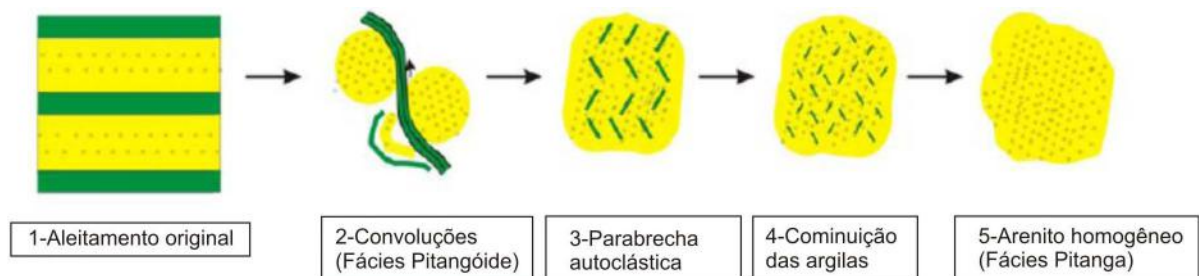


Figura 19 - Esquema indicando o processo de formação da Fácies Pitanga, por remobilização e injeção, desde sua configuração original.

O conceito proposto por Falcão & Della Favera (no prelo) se encontra muito próximo ao dado por Hurst & Cartwright (2007) para injectitos. Nesse caso, muitos desses corpos estariam relacionados a um processo de injeção envolvendo não somente areias em folhelhos, mas também areia em outra areia, o que pode justificar o padrão de circunvoluções, o aspecto brechado, e o de cominuição de argilas, encontrados em afloramentos (Figura 19).

7.2.1 Feições em Afloramentos

Dados adquiridos em atividade de campo, nas áreas de Caboto e Botelho (próximo a Madre de Deus), indicaram feições características de injectitos. Essas injeções estariam relacionadas a esforços compressoriais gerados pelo movimento de falhas, como o caso do movimento dextral da Falha de Mata-Catu contra os conglomerados da borda da bacia.

Em Caboto foram observadas injeções de areias da Fácies Pitangóide em folhelhos, formando possivelmente um padrão de intrusão *winglike* (Figuras 20 e 21), além de brechas autoclásticas com fragmentos de folhelhos, formados por um processo de cominuição (Figura 22).

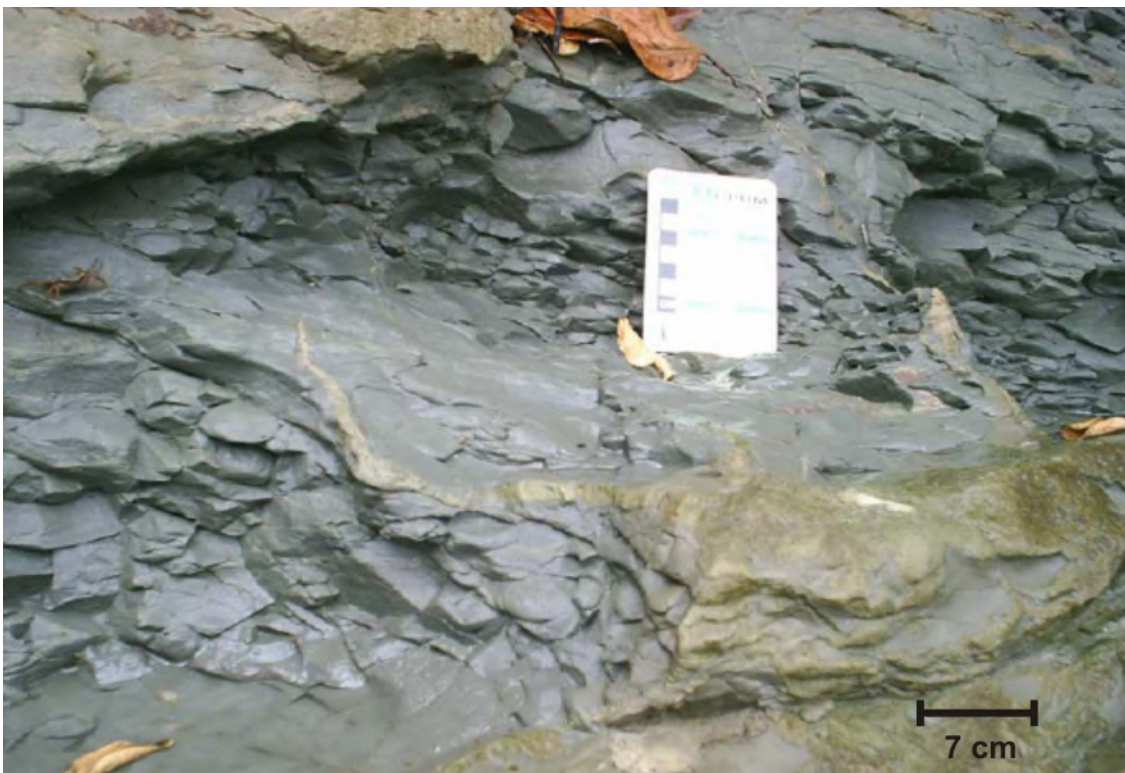


Figura 20 - Injeções de arenito pitangóide em folhelhos, na área de Caboto, Bacia do Recôncavo.



Figura 21 - Injeções seguindo um padrão *winglike*, de arenito pitangóide em folhelhos, na área de Caboto, Bacia do Recôncavo.

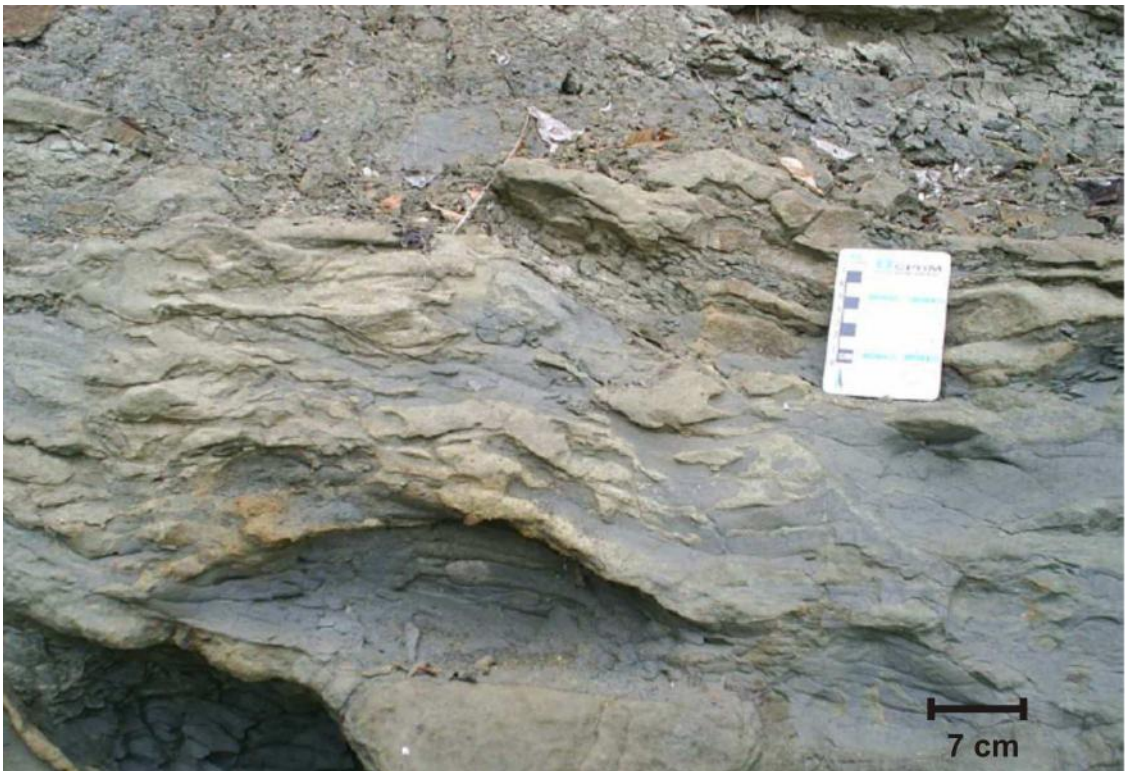


Figura 22 - Brecha autoclástica com fragmentos de folhelhos, formados em um processo de “trituração” mecânica durante a injeção. Caboto, Bacia do Recôncavo.



Figura 23 - Brecha com fragmentos de folhelhos, formadas *in situ* (Hurst & Cartwright, 2007). Notar a semelhança com a figura 21 referente ao Recôncavo.

Na região sul do Recôncavo, nos afloramentos do Ferrolho (Botelho), próximo a Madre de Deus, foram observadas areias injetadas em areias, indicando um padrão de circulação na forma de O|O (Figura 24), onde os círculos indicam as flexões produzidas pelo processo de injeção (em sismica essas feições circulares são denominadas por J. C. Della Favera como Reflexões em Forma de Olhos), os parênteses seriam as linhas de fluxo, e o traço central seria o eixo principal, ou chaminés de escape do material fluidizado, formado pela injeção. De acordo com Falcão & Della Favera (no prelo), esse mecanismo de circunvoluções permite a formação da Fácies Cerebróide. Afloramento com padrão similar também ocorre na Bacia de Sergipe-Alagoas.

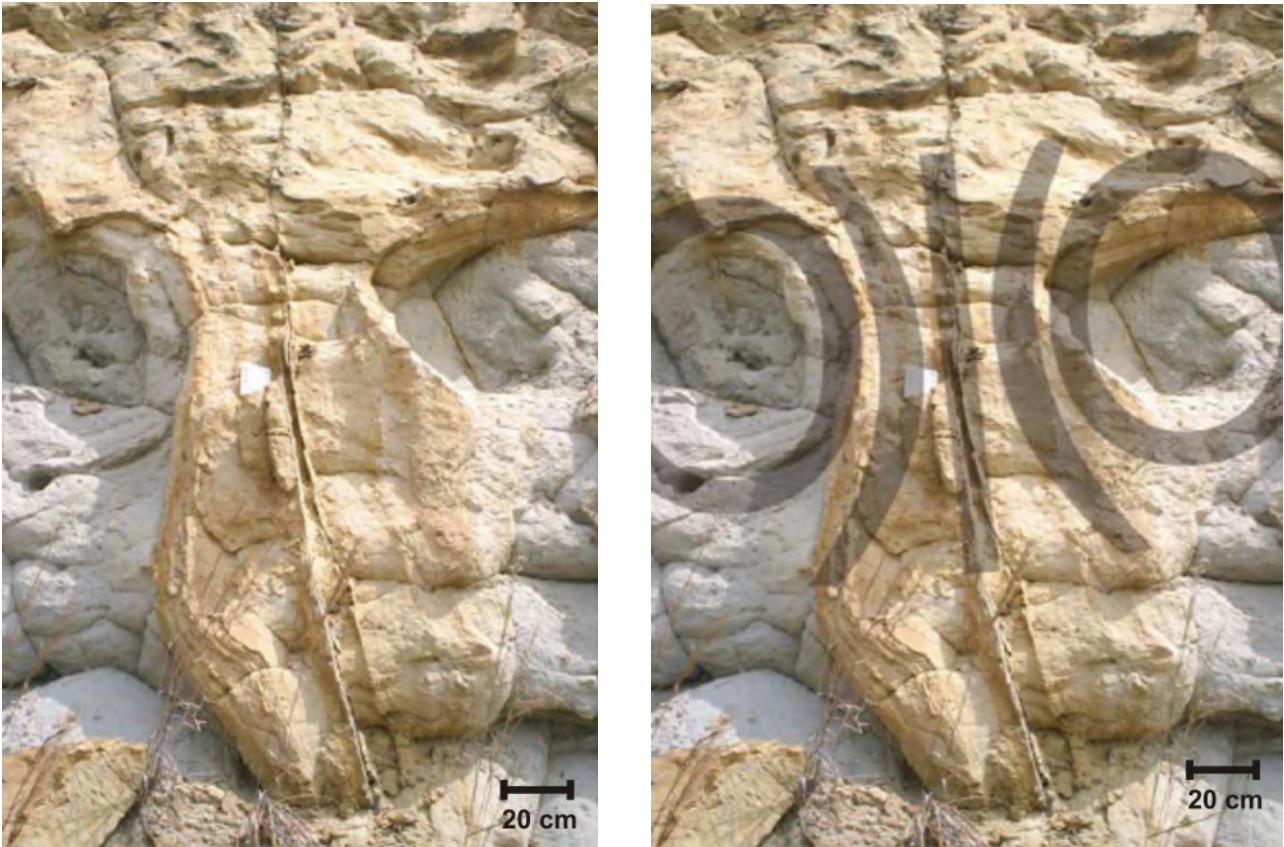


Figura 24 - Areia injetada em areia, formando um padrão na forma de O)I(O, em Botelho, Bacia do Recôncavo.



Figura 25 - Padrão na forma de O)I(O. Notar o aspecto “cerebróide”, que passa a ocorrer no arenito (acinzentado) que esta sofrendo injeção. Botelho, Bacia do Recôncavo.

Esse afloramento apresenta dois corpos distintos de areia, marcados principalmente pela coloração, uma acinzentada sendo injetada por outra de cor amarelada. Ambas apresentam uma granulação média a fina.

Há uma similaridade desses afloramentos com os que ocorrem na Formação Hareelv (Groenlândia), citada anteriormente, em termos de geometria e presença de fragmentos de folhelho de variados tamanhos na matriz. Essa matriz secundária que pode atingir até 50% de material argiloso, pode dificultar o fluxo de fluido na rocha, transformando um possível reservatório em selo. No entanto, existem porções de melhor permeabilidade, que se tornam excelentes *sweet spots* para gás (campo de Massuí), ou até mesmo para óleo (Campo de Massapê), que são chamadas informalmente, como visto anteriormente, de “pitangóides”.

7.2.2 Feições em Sísmica

A análise de uma seção sísmica interpretada na área de Guanambi permite a observação de feições de injectitos, possivelmente do tipo *winglike*, que ocorrem associados à Facies Pitangóide (Figura 26).

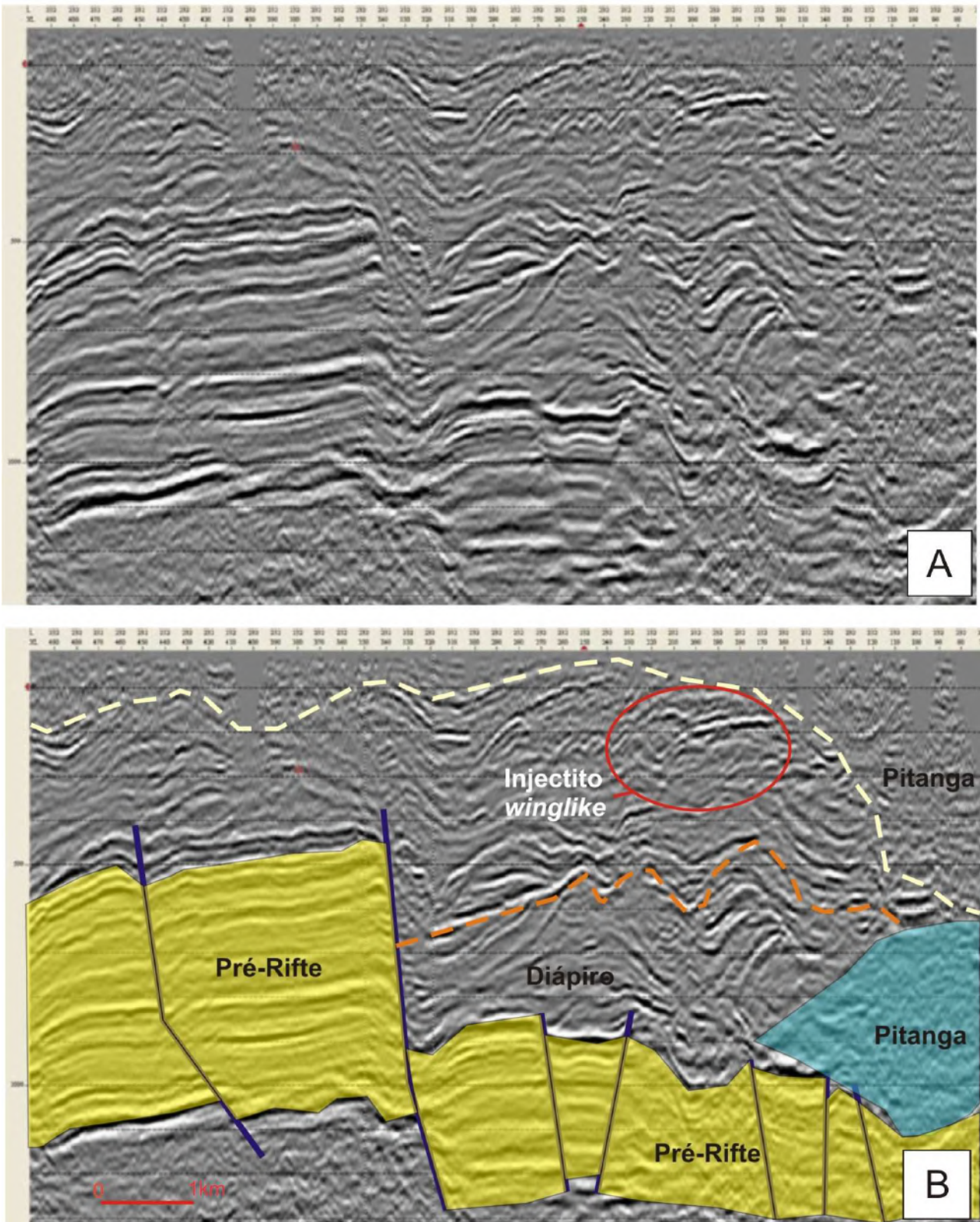


Figura 26 - Seção sísmica SW-NE na área de Guanambi. Notar as feições típicas de intrusões *winglike*.

7.2.3 Análise de Testemunhos

As amostras de testemunhos, em níveis associados à injectitos, referentes às Bacias do Recôncavo são semelhantes a testemunhos retirados em campos de petróleo e gás no Mar do Norte. Ambos apresentam zonas de areias maciças, sem estruturas, geradas pela remobilização que ocorre associada à dinâmica de injeção (Figura 27), e zonas com um padrão de cominuição, com fragmentos de folhelhos (Figura 28), geradas no processo de injeção da areia.

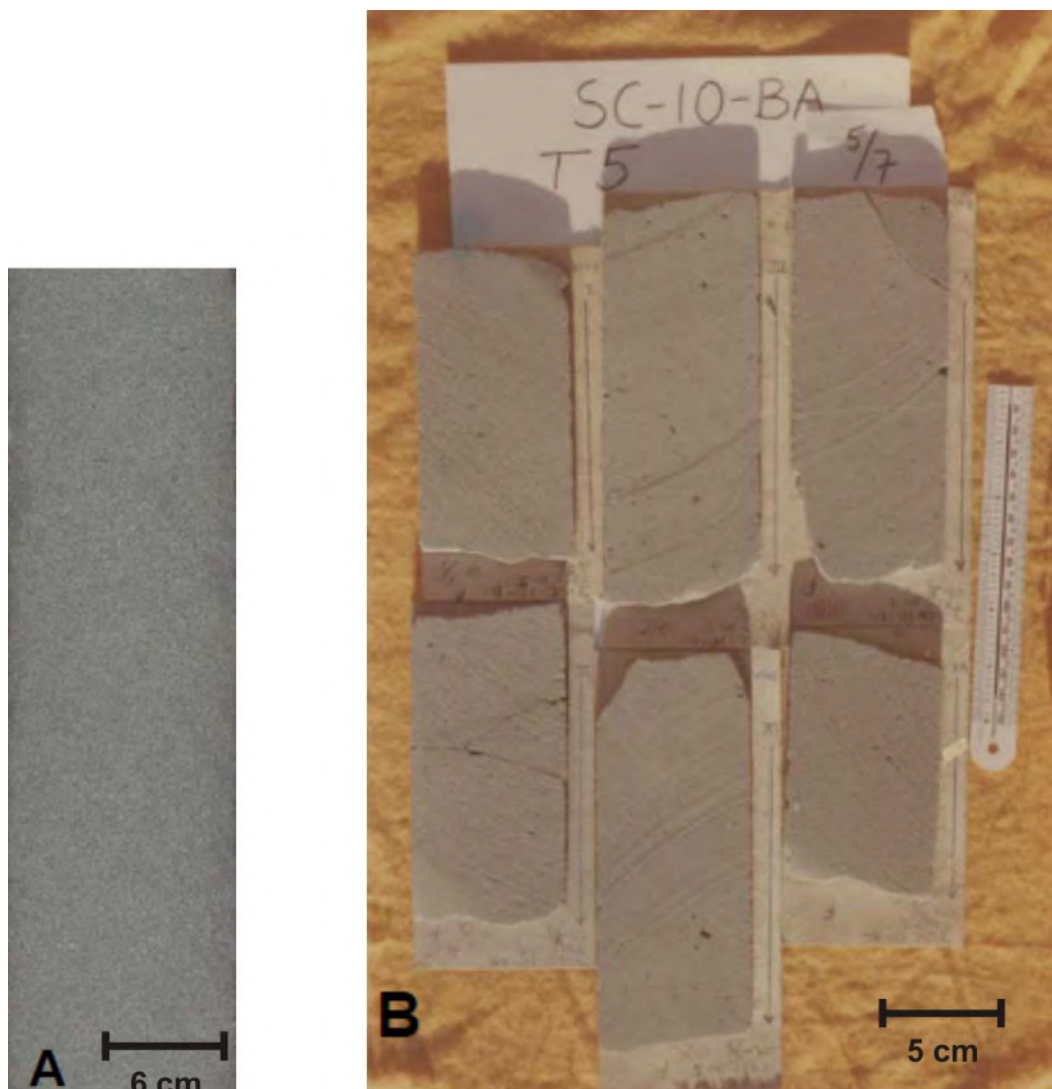


Figura 27 - A) Testemunho de arenito maciço, sem estrutura (Hurst & Cartwright, 2007); B) Testemunho do Arenito Pitanga, maciço, do poço 1-SC-1-BA.

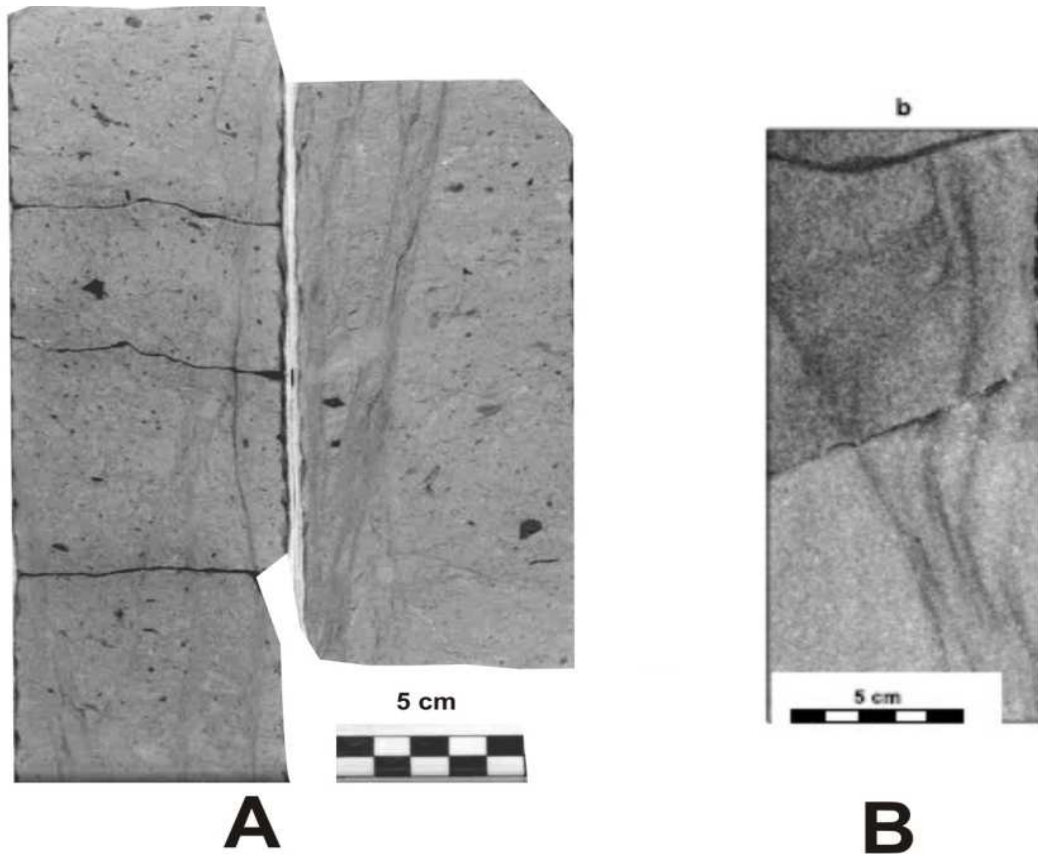


Figura 28 - Comparação de fácies de injectitos em testemunhos. A) Testemunho do campo de Socorro, referente ao Membro Pitanga. Notar o padrão de escape de água (fluidização) sub-vertical e fragmentos de argila gerados por cominuição (Klein *et al.*, 1972); B) Testemunho do Campo de Balder (Mar do Norte), indicando escape de água (fluidização) (Briedis *et al.*, 2007).

8. INJECTITOS NA BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS

Situada nos estados de Sergipe e Alagoas, a Bacia de Sergipe-Alagoas encontra-se na margem continental nordeste brasileira, entre os paralelos 9° e 11° 30' S (Figura 29). Sua porção *onshore* apresenta uma área de 13.000 km², já a parte *offshore* se estende por uma área de 32.760 km², até a cota batimétrica de 3.000 metros. Apresenta-se de forma alongada na direção NE com 350 km de extensão e 35 km de largura, em média, em terra.

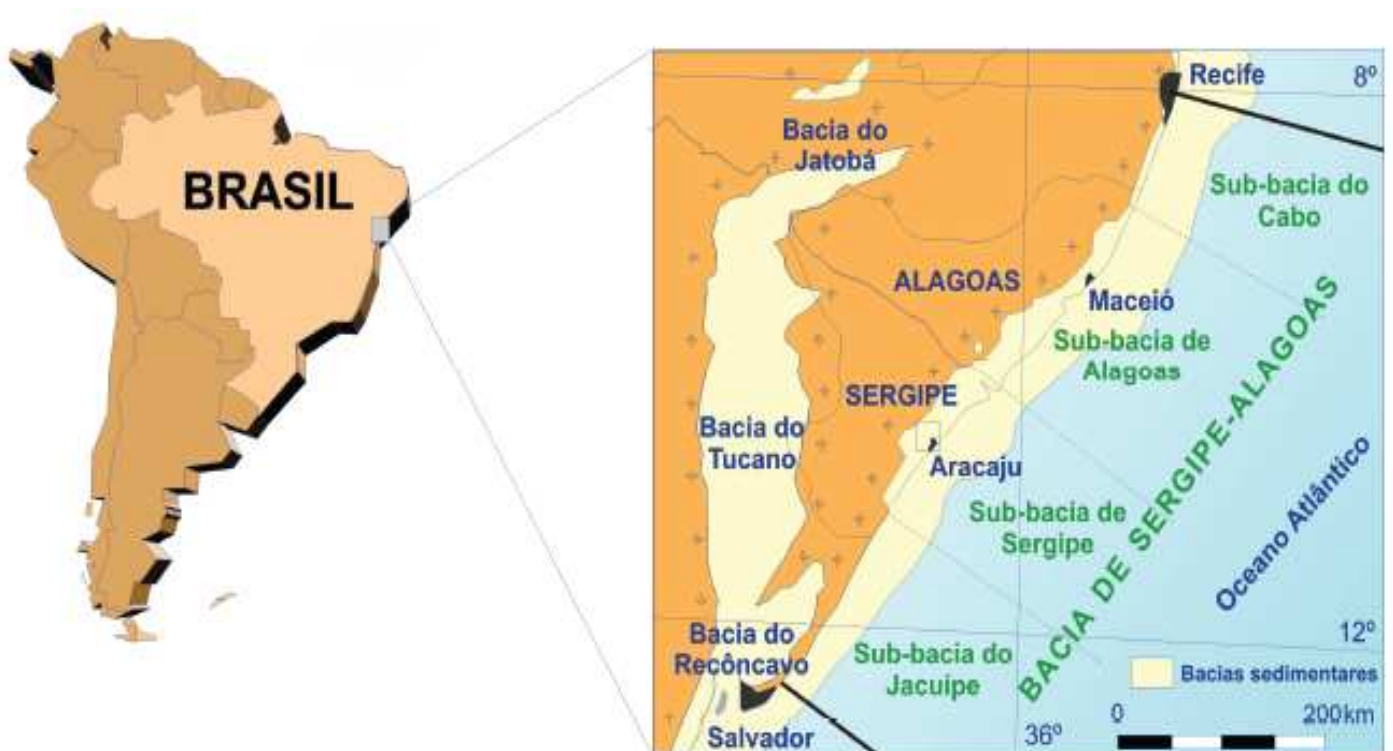


Figura 29 - Mapa de localização da Bacia de Sergipe Alagoas (Souza Lima *et al.*, 2002).

A bacia possui limite ao norte com a Bacia de Pernambuco-Paraíba através do Alto de Maragogi. Ao sul, o limite da porção emersa, é constituído pela plataforma de Estância e a porção *offshore* pela Bacia de Jacuípe.

A Bacia de Sergipe-Alagoas destaca-se por excelentes afloramentos, e por possuir uma seção sedimentar completa. Ela, dentre todas as bacias da margem continental brasileira, é a que apresenta a sucessão estratigráfica mais completa. Indica remanescentes de uma sedimentação Paleozóica, uma seção Jurássica e Eocretácica pré-rifte muito bem desenvolvida, além de seqüências Meso-cenozóicas sin-rifte e pós-rifte.

O arcabouço estrutural da bacia é formado por um rifte alongado, assimétrico com extensão de 350 km na direção Nordeste-Sudoeste, dividido em duas sub-bacias (Sergipe e Alagoas).

Ocorrem falhas normais com direção N45°E (Charneira Alagoas), com rejeitos verticais de até 5 km, horts alongados, limitados por falhas normais (Alto de Penedo), anticlinais, estruturas de escorregamento e falhas lítricas relacionadas à tectônica salífera (Figura 30).

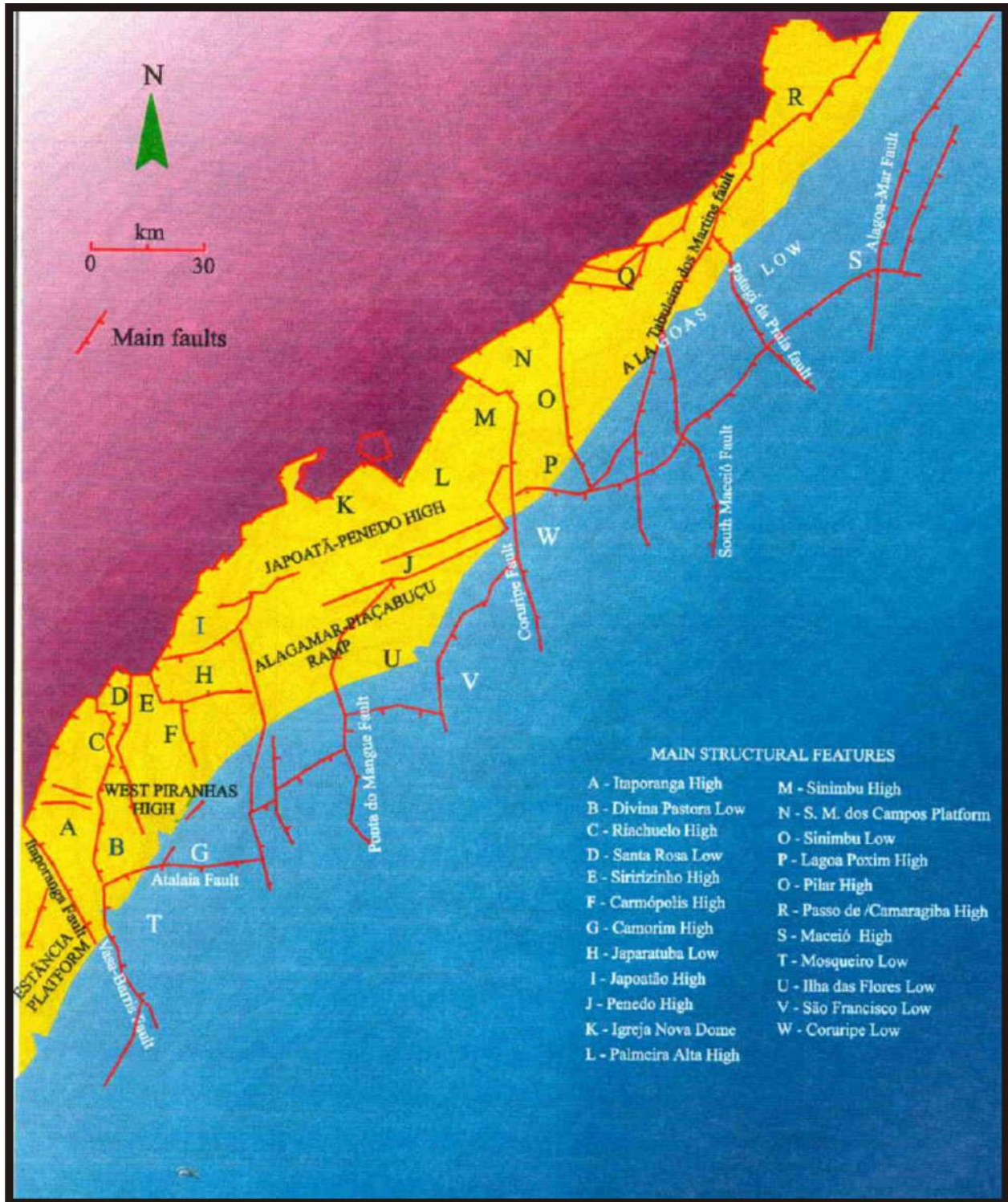


Figura 30 - Arcabouço Estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas(Lana, 1990).

A Bacia de Sergipe-Alagoas possui um quadro tectônico básico composto por falhas com orientação Norte-Sul, cortadas por falhas Leste-Oeste, formando a lineação Nordeste-Sudoeste da bacia. De acordo com Beltrani & DellaFavera (1976), a evolução tectônica foi fundamental para os sistemas de deposição e localização dos depocentros.

As seqüências pré-rifte e rifte indicam uma tectônica diastrófica, e as demais seqüências um padrão adiastrófico (halocinético).

Pré-Rifte

A bacia pré-rifte possui um aspecto geral que abrange porções das bacias de Camamu, Tucano e Recôncavo. Essa megasseqüência foi depositada sobre uma sinéclise intracratônica com depocentro situado na porção nordeste do alto de Aracajú.

Rifte

Um sistema de falhas com orientação principal Norte-Sul, cortado por outro sistema de falhas Leste-Oeste foi o principal controlador dessa megasseqüência. De acordo com Milani *et al.* (2001), com o alargamento da fenda (relacionada a migração dos continentes Sul-Americano e Africano) que progredia de Norte para Sul, e considerando o encaixe ao norte, foi criado um sistema binário responsável por fraturas de cisalhamento tensionais e compressionais. Ao longo do plano dessas falhas teria ocorrido posteriormente o deslizamento e basculamento de blocos. O depocentro principal ocorria em Sergipe e a sedimentação foi gradualmente deslocada para Alagoas.

No andar Jequiá ocorreu um arqueamento do embasamento, onde hoje ocorrem importantes campos de petróleo. No extremo norte do estado de Alagoas esse arqueamento ocorreu mais tarde no andar Alagoas, do qual fazem parte as estruturas mais significativas da bacia.

Após a sedimentação Jequiá ocorreu um soerguimento regional com posterior erosão, formando uma discordância pré-Aptiana significativa. Essa fase foi marcada pela colocação da chamada Linha de Carneira Alagoas (LCA). No pré-Aptiano e Aptiano ocorreu uma basculamento, invertendo os estratos do Grupo Baixo São Francisco para oeste e noroeste, permitindo a formação de estruturas de meio graben (Della Favera, 1998).

Transicional – Margem Passiva (Drifte)

A megasequência pós-rifte, resulta da última fase de rompimento entre a América do Sul e África, e a formação do Oceano Atlântico, o qual ocorreu do andar Alagoas ao Recente.

A Linha de Carneira Alagoas (LCA), resultado da ação divergente da separação dos continentes, promoveu uma mudança significativa na fisiografia e no estilo tectônico da bacia. Ao invés do tectonismo inicial, o estilo principal passou a ser adiastrófico com a ocorrência de evaporitos e fluxos gravitacionais. De acordo com Beltrani & Della Favera (1976), o depocentro, controlado pelo padrão meio-graben durante a fase rifte, é deslocado para um novo compartimento no leste, controlados por falhas Leste-Oeste e por sistemas de domínios antigos de falhas Norte-Sul.

Na condição marinha restrita (final do Alagoas e parte do Albiano), os conglomerados da base do Membro Carmópolis foram depositados no bloco alto da

LCA, em Sergipe. Estes conglomerados preencheram vales que haviam sido escavados por erosão na discordância pré-Alagoas. A sub-bacia de Alagoas passava a se comportar como uma área positiva, sendo assim fonte dos arenitos flúvio-deltaicos da Formação Maceió e de raras camadas finas de sal. Os carbonatos, evaporitos e folhelhos dos membros Ibura e Oiteirinhos, foram depositados posteriormente.

Com a condição de mar aberto, do Albiano ao Santoniano, passou a se desenvolver o sistema de carbonatos das formações Riachuelo e Cotinguiba. A aceleração do processo de subsidência termal permitiu a reativação de áreas fontes, promovendo a formação de um banco de carbonatos da Formação Marituba e sedimentos provenientes de fluxo de turbidez da Formação Calumbi. Nas partes mais profundas da bacia, a taxa de subsidência foi maior do que o aporte sedimentar, e o sistema de escorregamento então recuou promovendo uma transgressão.

O Terciário, com o Grupo Piaçabuçu, teve o último episódio de preenchimento da bacia, caracterizado por progradação de areias costeiras e carbonatos da Formação Marituba, assim como folhelhos e areias turbidíticas, geradas por escorregamento, da Formação Calumbi.

O último episódio deposicional da bacia está relacionado ao Plioceno com os sedimentos costeiros da Formação Barreiras.

Tectônica Salífera

Afetou principalmente os sedimentos das formações Riachuelo e Cotinguiba, tendo sua intensidade variando de acordo com a dinâmica ascensional do sal,

formando estruturas com padrão alongado e arredondado. Essa tectônica permitiu a formação de inúmeras falhas de crescimento (Milani, 2001).

8.1 Arcabouço Estratigráfico

De acordo com Moraes Rego (1933), a Sub-bacia de Sergipe é constituída, em seu embasamento, por rochas metamórficas de baixo grau dos grupos Miaba e Vaza-Barris, metassedimentos do Grupo Estância (Silva *et al.*, 1978), possivelmente de idade Cambriana e depositados por sistemas alúvio-fluviais, deltaicos e de marés. Já na Sub-bacia de Alagoas ocorrem rochas graníticas, Proterozóicas, do maciço Pernambuco-Alagoas.

Os registros sedimentares associados ao momento de sinéclise da bacia são marcados pelos depósitos da Formação Batinga (Carbonífero), que se divide em dois membros (Campos Neto *et al.*, 2007), depositados em sistema transgressivo, Mulungu e Boacica, o primeiro formado por diamictitos resultantes de retrabalhamento dos sedimentos glaciais por fluxos de detritos, e o segundo por conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos, relacionados a leques deltaicos, além da Formação Aracaré (Permiano), representada por um ciclo transgressivo-regressivo, no qual folhelhos pretos são recobertos por arenitos, calcarenitos associados a sílex e lamitos algais, relacionados a um ambiente desértico, litorâneo e deltaico, sob influência de retrabalhamento eólico e de ondas.

Na fase Pré-Rifte, ocorre a deposição dos sedimentos da Formação Candeeiro (Dom João), composto de arenitos de origem fluvio-deltaica, da Formação Bananeiras (Dom João), marcada por folhelhos vermelhos de origem lacustre, e da Formação Serraria (Dom João), onde as areias depositadas nessa

unidade estão relacionadas a um sistema fluvial entrelaçado com retrabalhamento eólico.

O tectonismo na bacia se torna ainda mais atuante permitindo a deposição dos sedimentos da fase Rife. Primeiramente a Formação Feliz Deserto (Rio da Serra), constituída de uma sucessão de folhelhos esverdeados, com delgadas intercalações de areias, separados da Formação Barra de Itiuba por um hiato de 3 Ma (Galm & Santos, 1994). Por sua vez, a Formação Barra de Itiuba (Rio da Serra - Eojequiá), situa-se na porção mais distal, e é caracterizada por arenitos, folhelhos e siltitos de origem deltaico-lacustre.

Posteriormente, em um momento onde a tectônica rúptil restringia-se a Sub-bacia de Sergipe (Campos Neto *et al.*, 2007), ocorrem as formações Penedo (Rio da Serra - Eojequiá), com arenitos alúvio-fluviais, e Rio Pitanga (Aratu - Eoalagoas), indicando conglomerados aluviais na porção mais proximal.

Os sedimentos da Formação Coqueiro Seco (Jequiá - Eoalagoas), foram depositados em um momento de alta subsidência, no início do segundo pulso de rifteamento onde o tectonismo se propagou por toda a bacia, e são caracterizados por arenitos e folhelhos de origem alúvio-deltaica e lacustre. Schaller (1970), definiu a Formação Morro do Chaves como carbonatos coquinóides e folhelhos que ocorrem interligados as rochas de Rio Pitanga, já Feijó (1995) a rebaixou a Membro da Formação Coqueiro Seco. Por fim, os sedimentos da Formação Maceió (Alagoas) foram depositados ao final do segundo pulso tectônico da bacia, quando o tectonismo era muito intenso e delineou-se a linha de charneira, e é marcada por arenitos, folhelhos, evaporitos e calcilitos (Campos Neto *et al.*, 2007).

Com o início da subsidência térmica (pós-rifte), na idade Neo-Alagoas, a bacia sofreu basculamento para sudoeste, ocorrendo a primeira grande incursão marinha que depositou os sedimentos da Formação Muribeca (Campos Neto *et al.*, 2007), composta pelo Membro Carmópolis caracterizado por siliciclásticos grossos de origem alúvio-fluviais e deltaicos, pelo Membro Ibura formado por evaporitos, carbonatos microbiais e folhelhos de ambientes marinhos rasos com influência de marés, e por fim o Membro Oiteirinhos indicando intercalações de folhelhos e calcilutitos.

De acordo com Koutsoukos (1989), quando as barreiras de restrição foram completamente desfeitas, e o nível do mar subiu, dava-se início a seção drifte da bacia com uma sedimentação marinha franca que deu origem a Formação Riachuelo (Albiano), composta por rochas siliciclásticas grossas de origem deltaica do Membro Angico, rampa carbonática com bancos de oólitos e oncólitos do Membro Maruim e calcilutitos e folhelhos do Membro Taquari.

Do Neocenomaniano ao Coniaciano, um grande evento transgressivo, permitiu a sedimentação da Formação Cotinguiba, formada por calcilutitos maciços e brechóides (Membro Sapucari) na zona proximal da rampa, e folhelhos, margas e calcilutitos (Membro Aracaju) próximo ao talude. Um rebaixamento no nível do mar, no final do Coniaciano, propiciou a erosão regional de parte das seqüências depositadas, denominada discordância Sub-formação Calumbi (Campos Neto *et al.*, 2007). Posteriormente, ocorre a Formação Calumbi (Santoniano - Terciário), que é marcada por um evento transgressivo, e faz parte da porção distal da bacia, sendo composta por folhelhos com intercalações de areias de origem turbidíticas. O máximo dessa transgressão se dá no Eocampaniano seguido de um aumento de aporte sedimentar com padrão de empilhamento progradante (Campos Neto *et al.*,

2007), permanecendo a sedimentação da Formação Calumbi nas zonas distais e depositando os sedimentos da Formação Marituba (Eoceno - Oligoceno) nas porções proximais, formados por areias costeiras e plataformais.

Relacionado aos primeiros depósitos terciários da bacia ocorrem os sedimentos da Formação Mosqueiro (Eoceno - Mioceno), compostos de calcarenitos bioclásticos depositados na borda da plataforma siliciclástica da Formação Marituba.

Finalmente, no Plioceno, um novo evento transgressivo deu origem a Formação Barreiras, que marca o último registro sedimentar da bacia, e é caracterizado por sedimentos costeiros, depositados na porção terrestre, sob um regime regressivo.

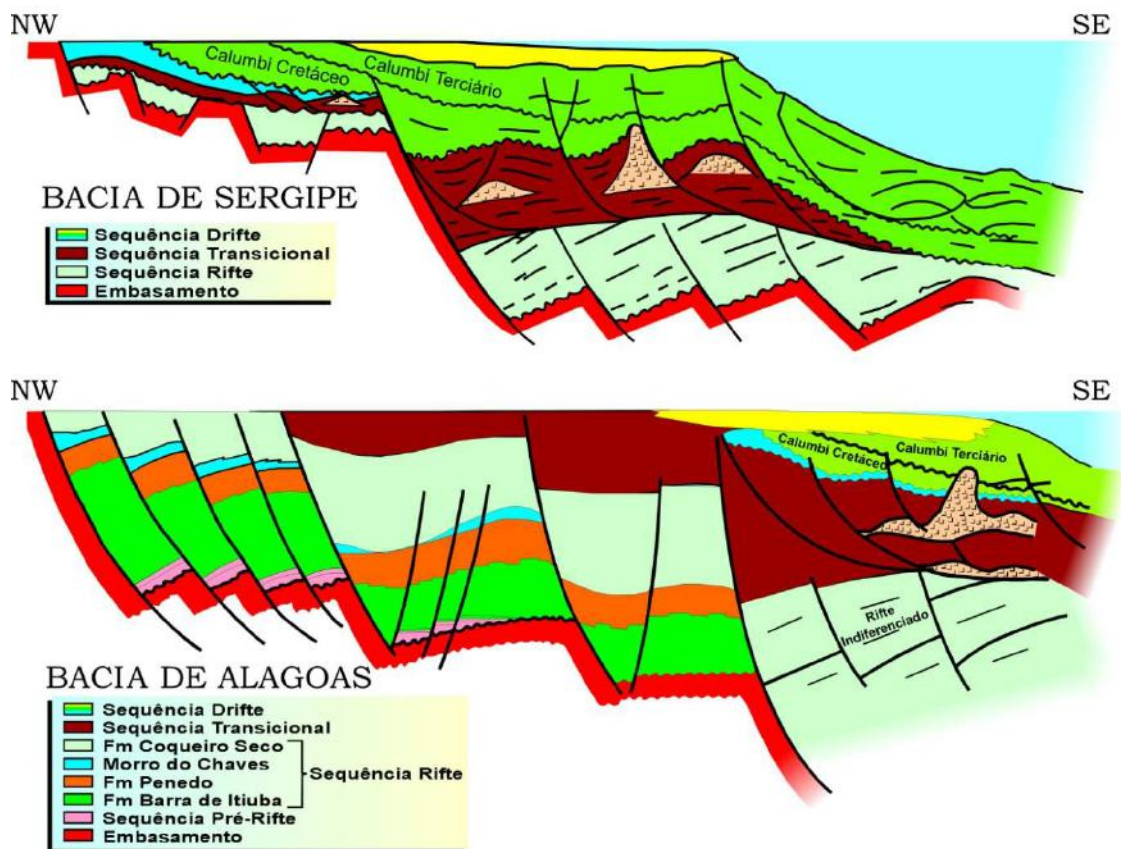


Figura 31 - Seção geológica esquemática, indicando o arranjo estrutural e as seqüências sedimentares das sub-bacias de Sergipe e Alagoas (Van der Vem, 1988 in Aquino & Lana, 1989)

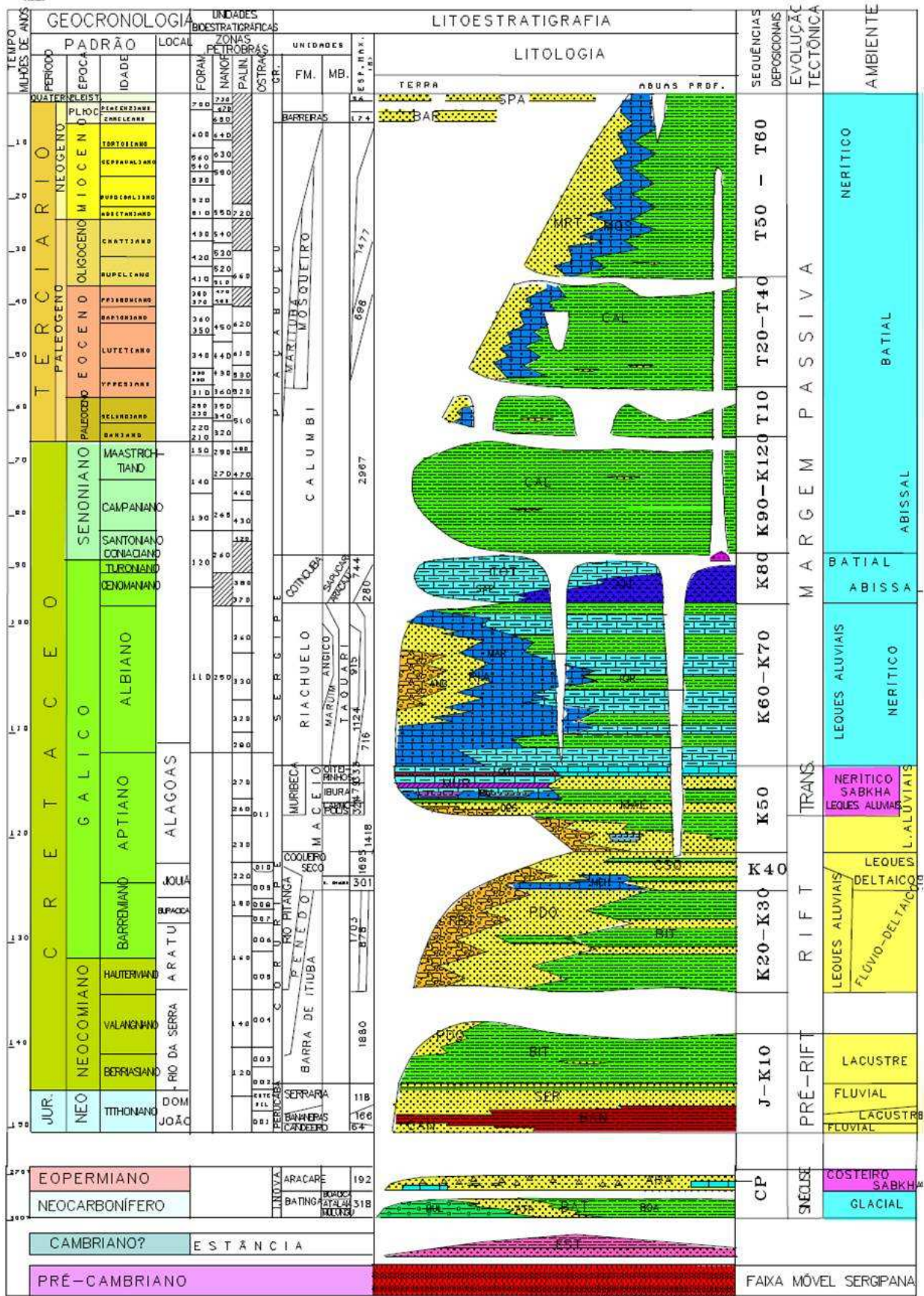


Figura 32 - Carta estratigráfica da sub-bacia de Sergipe, proposta por Feijó (1993).

8.2 Ocorrência de Injectitos na Bacia de Sergipe-Alagoas

Foram constatadas feições de injectitos na Bacia de Sergipe-Alagoas, em dados relacionados a sedimentos das fases rifte, transicional e drifte.

Na fase rifte, as evidências se referem à Formação Barra de Itiuba, que possui sedimentos de origem deltaico-lacustre. Os injectitos indicam um padrão de ocorrência, bem como um grau de remobilização, similar a Bacia do Recôncavo (vista anteriormente).

Em sedimentos associados à Formação Muribeca, que indicam uma progradação de arenitos e conglomerados sobre turbiditos, ritmitos e folhelhos, apresenta-se feições de injeção geradas a partir de um processo contínuo de *ball & pillow* em areias originalmente turbidíticas.

Por fim, a partir de dados sísmicos e de testemunhos, foram caracterizadas feições de injectitos em areias de origem turbidítica da Formação Calumbi.

8.2.1 Feições em Afloramentos

Feições características de processos de injeção foram observadas em afloramentos na cidade de Penedo (Alagoas), as margens do Rio São Francisco. Esses afloramentos, relacionados à Formação Barra de Itiuba, apresentam um processo de injeção de areias de origem deltaica. É possível notar uma grande similaridade com injectitos indicados na Bacia do Recôncavo, nos afloramentos de Botelho (próximo a Madre-de-Deus), onde também ocorrem areia injetando em areia e um grande padrão de remobilização (Figura 34). O padrão de circulação na forma de O)I(O, com uma “chaminé” de escape de material fluidizado bem marcada, como no caso do Recôncavo, fica evidente (Figura 35).



Figura 34 - Injeção de areia em areia, formando um padrão de remobilização. Formação Barra de Itiuba na cidade de Penedo (AL).



Figura 35 - Mesma figura anterior, indicando a formação de padrão na forma de O)(O, semelhante ao Recôncavo. Notar as linhas fluxo, as flexões, e a “chaminé” (CH) de escape de material fluidizado.

Na Figura 36, é possível observar areias remobilizadas, sendo injetadas em arenitos com festões de grande porte da Fácies Neópolis. Notar a “chaminé” de escape de material fluidizado seguindo um padrão de dique.



Figura 36 - Processo de injeção de areias remobilizadas em areias com festões (F) de grande porte. É possível observar a “chaminé” de escape de fluido (CH) associada ao processo de injeção, formando um padrão de dique. Penedo, Bacia de Sergipe-Alagoas.

Associado a esse processo, é possível notar areias maciças com um padrão de circunvolução, no “corpo” que está sofrendo a injeção (Figura 37). Características semelhantes a essa também foram observadas no Recôncavo, porém nesse caso não chega a formar um aspecto, como definiu Falcão & Della Favera (no prelo), “cerebróide”.



Figura 37 - Arenito maciço, gerado por remobilização. Cidade de Penedo, Bacia de Sergipe-Alagoas

Em Morro de Camaragibe (Alagoas), foram observados afloramentos da Formação Muribeca (Aptiano), que indicam uma sucessão de fácies características de processos sublacustres, ligados a frente deltaica do tipo *flysch*. Os ciclos deposicionais são fundamentalmente de progradação de arenitos e conglomerados sobre turbiditos “clássicos”, ritmitos e folhelhos.

São notáveis, as evidências de deformação por um contínuo processo de *ball & pillow* e posterior injeção, que ocorrem nos arenitos de origem turbidítica (Figura 38). É possível observar o aspecto brechado, gerado por trituração mecânica, que folhelhos e ritmitos passam a apresentar em pseudo-nodulos isolados (Figura 39), gerados por contínuo dobramento e injeção.

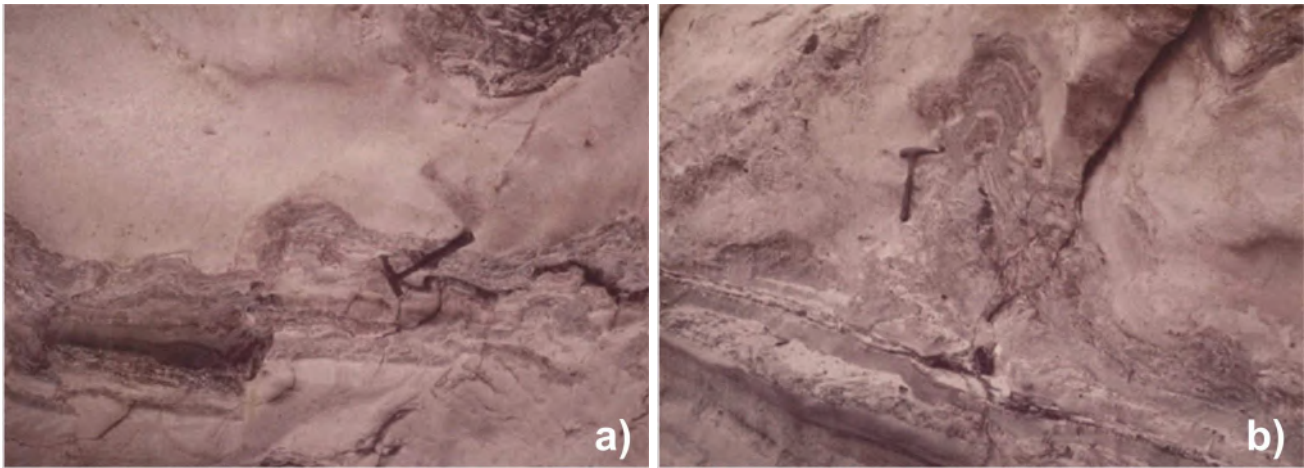


Figura 38 - a) Remobilização e início de processo de injeção em sedimentos do Aptiano no Morro de Camaragibe; b) Progresso da remobilização, dobramentos, e cominuição dos folhelhos e ritmitos associados. Morro de Camaragibe, Bacia de Sergipe-Alagoas.

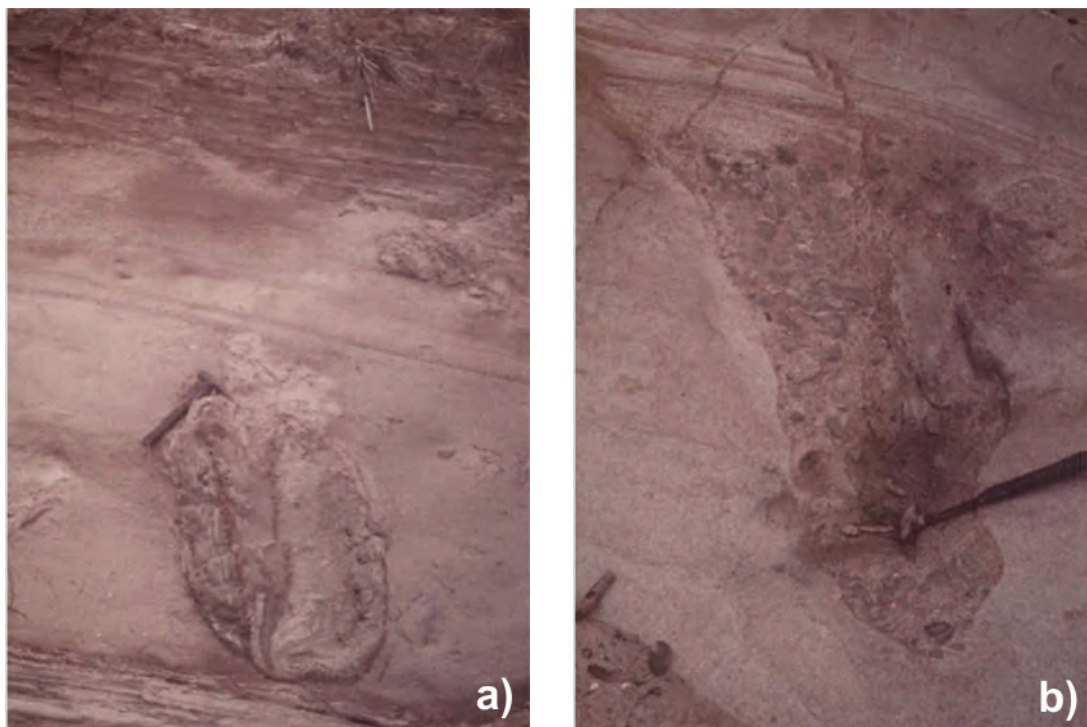


Figura 39 - a) e b) Pseudo-nodulos com aspecto brechado, isolados por um contínuo processo de dobramento e injeção, em Morro de Camaragibe, Bacia de Sergipe-Alagoas

8.2.2 Feições em Sísmica

A interpretação e análise de uma seção sísmica na área de São Cristovão, no estado de Sergipe, possibilitaram a caracterização de feições típicas de injectitos. No caso, trata-se de uma intrusão do tipo cônica.

Em termos estratigráficos, a seção sísmica (Figura 40) aponta o injectito como pertencente à Formação Calumbi (Santoniano – Terciário), podendo então ser considerado oriundo de depósitos turbidíticos que caracterizam essa unidade. Esse parentesco, pode indicar boas características de permeabilidade e porosidade para essa rocha, como o caso do Campo de Balder, na Bacia do Mar do Norte, descrito por Briedis *et al.* (2007).

Testemunhos referentes ao poço 1-CSM-001-SE corroboram com o conceito de injectitos na bacia.

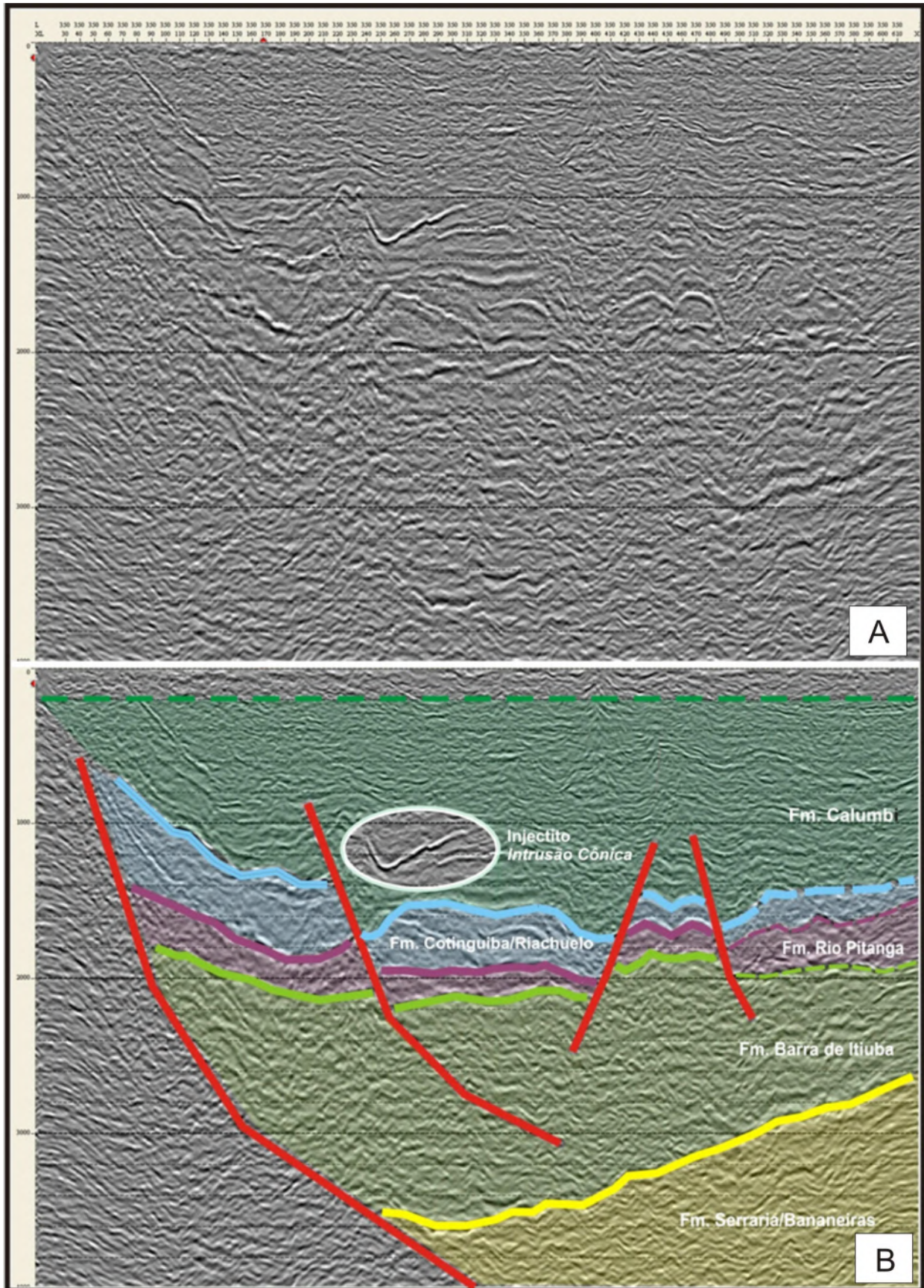


Figura 40 - Seção Sísmica W-E (A) interpretada (B), indicando uma feição de injectito com característica sísmica relacionada à intrusão do tipo cônica, associada a sedimentos da Formação Calumbi (Santoniano – Terciário), área de São Cristóvão (SE).

A partir de *depth slices* desta seção, a três profundidades diferentes (Figuras 42, 43 e 44), foi possível uma comparação entre as características, em plano, desta feição de injectito, com feições de injectitos demonstradas, em *time slices* de uma seção ao sul do Viking Graben (Bacia do Mar do Norte), por Huuse *et al.* (2007) (Figura 41). É possível notar uma grande semelhança entre as feições das duas áreas, bem como as grandes amplitudes que as caracterizam.

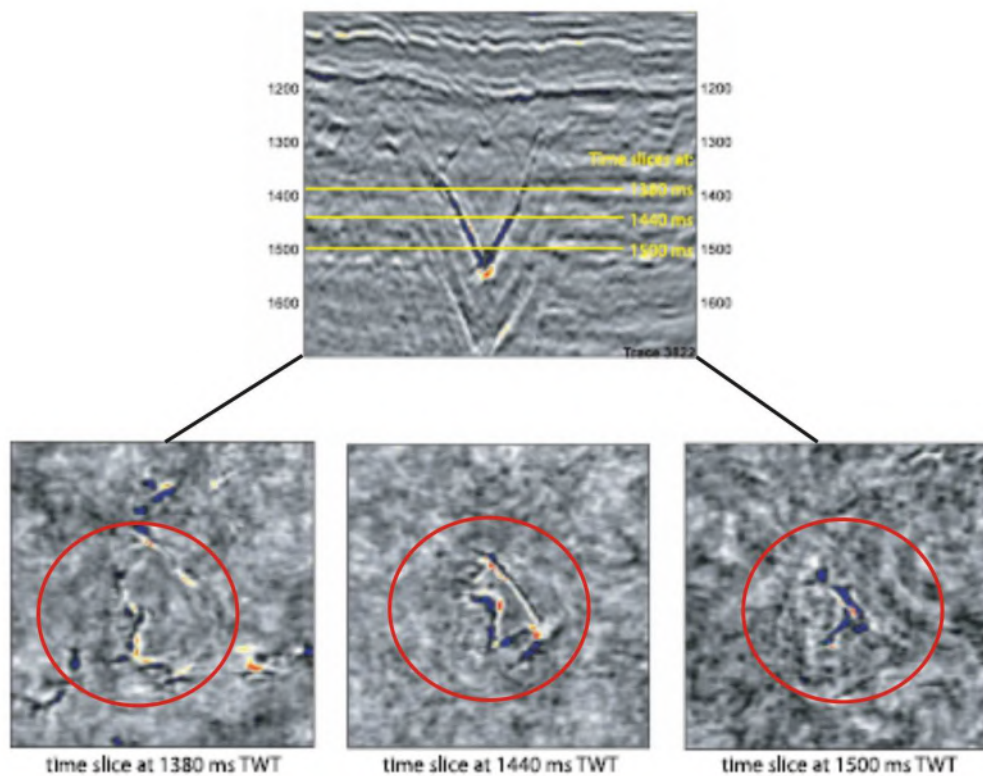


Figura 41 - *Time slices* de seção sísmica ao sul do Viking Graben (Mar do Norte), a três profundidades, da base a zona mais superficial: 1380, 1440 e 1500 m (Huuse *et al.*, 2007).

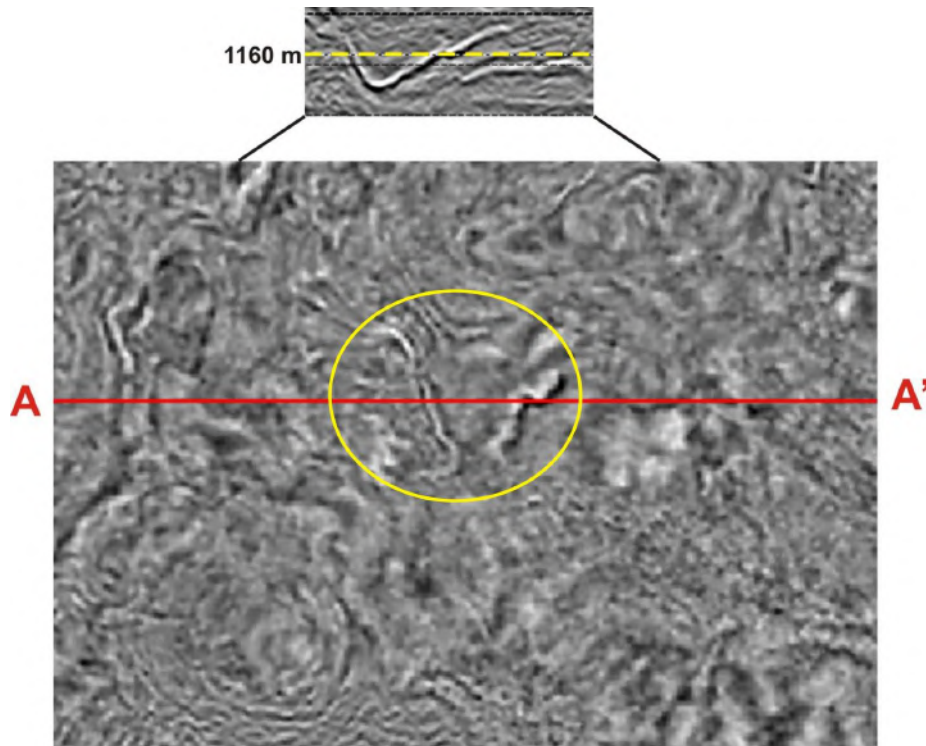


Figura 42 - *Depth Slice*, da seção sísmica apresentada na área de São Cristovão, Bacia de Sergipe-Alagoas, a 1160 m. A profundidade e a feição encontram-se destacados em amarelo.

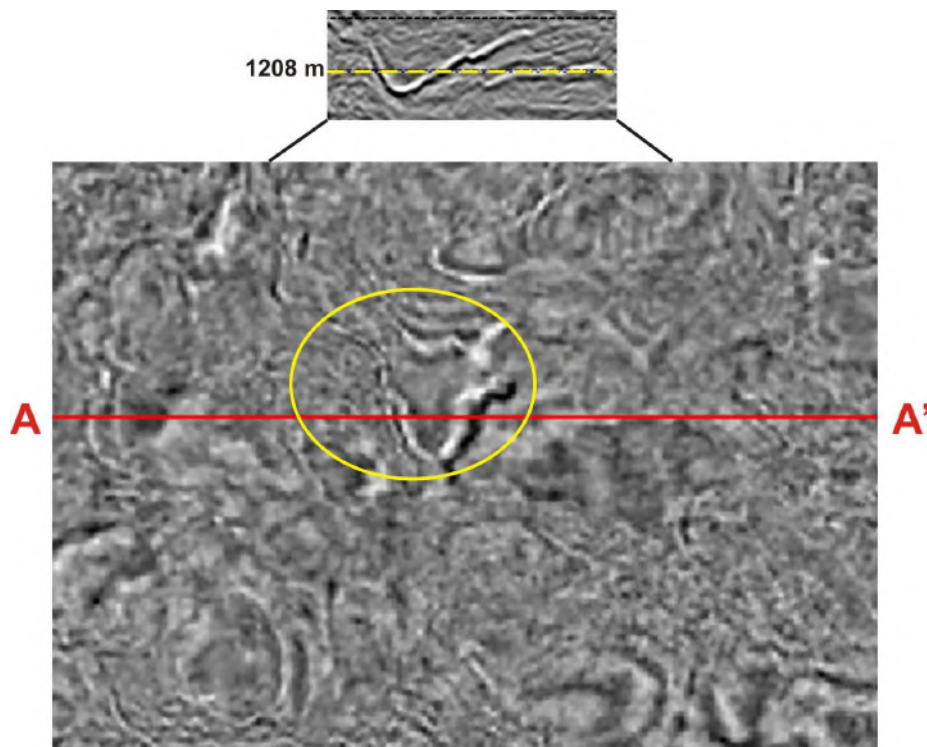


Figura 43 - *Depth Slice* a 1208 m. Notar a marcante diferença de amplitude da feição. São Cristovão, Bacia de Sergipe-Alagoas.

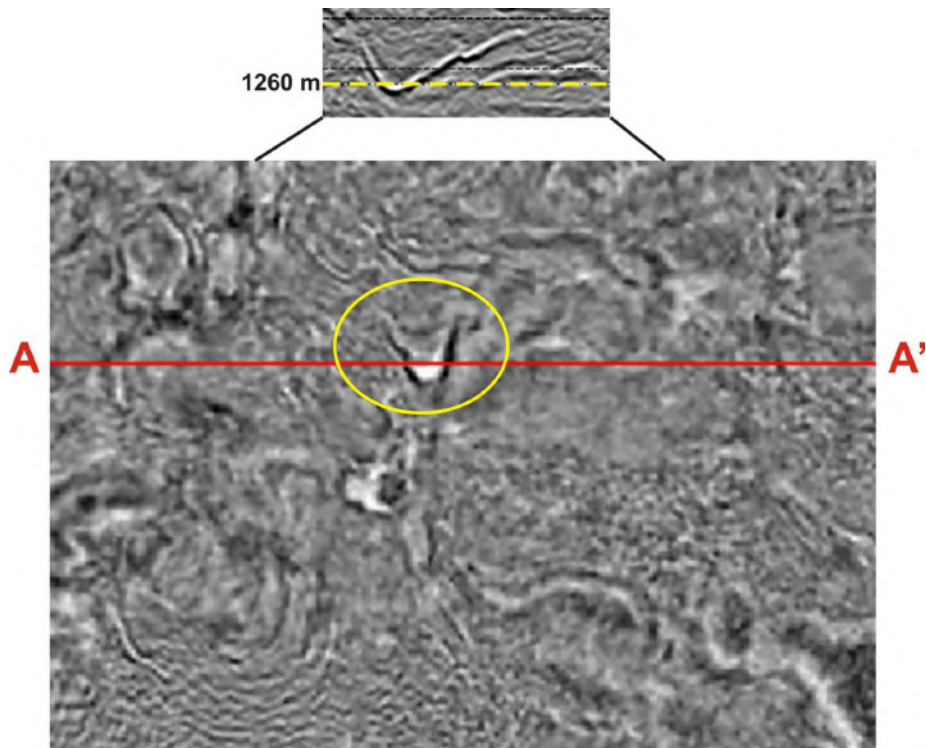


Figura 44 - *Depth Slice* a 1260 m, na base da feição. São Cristovão, Bacia de Sergipe-Alagoas.

8.2.3 Análise de Testemunhos

Em uma comparação feita entre testemunhos associados à injectitos na Formação Calumbi, referentes ao poço 1-CSM-001-SE, na Bacia de Sergipe-Alagoas, e testemunhos retirados no Campo de Penguin, no Reino Unido, referentes à injectitos da Formação Kimmeridge Clay (Jurássico Superior), é possível notar semelhanças como feições de fluidização (escape de água) e um padrão de cominuição, pequenos fragmentos de folhelho dentro da areia injetada (Figura 45).

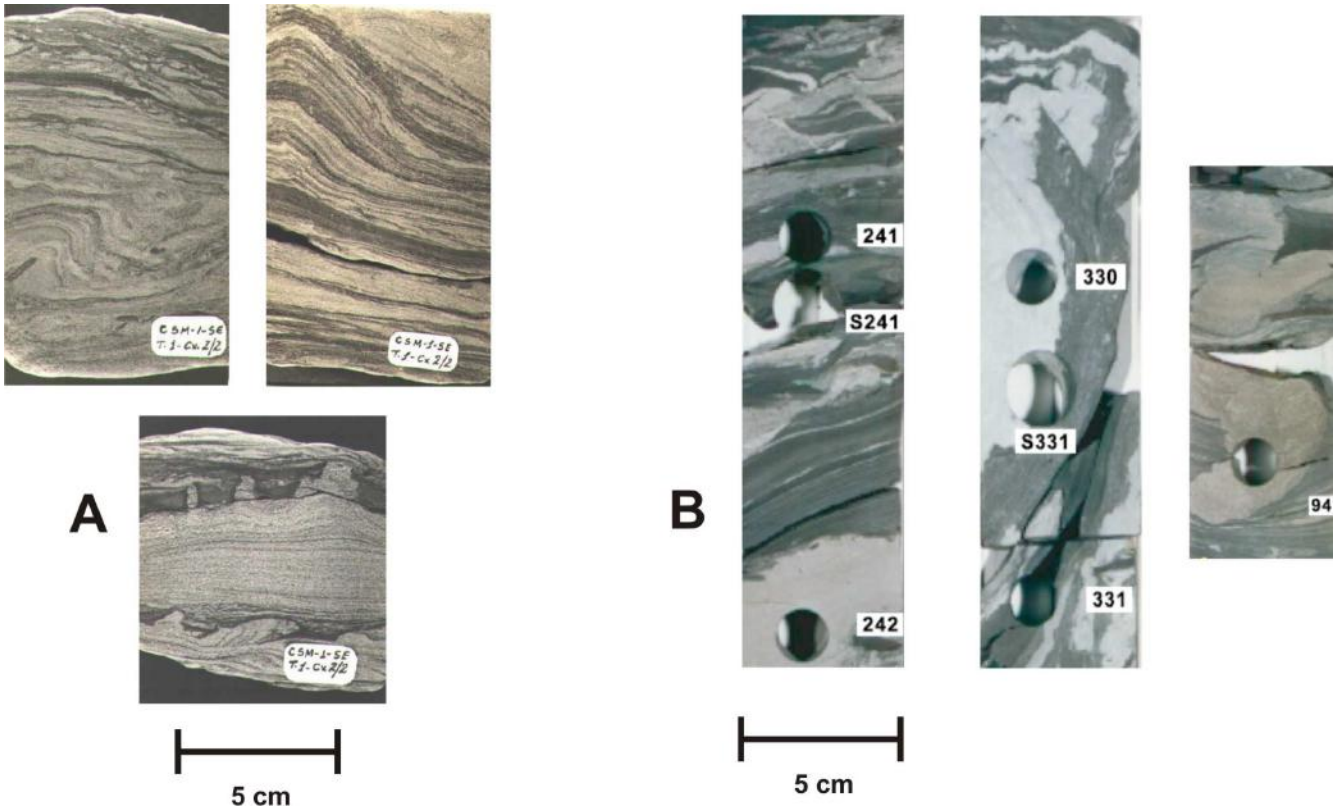


Figura 45 - Comparação de fácies de injectitos em testemunhos. A) Testemunho retirado do poço 1-CSM-0001-SE (Formação Calumbi) indicando fluidização, e fragmentos de folhelhos gerados por cominuição. B) Testemunho do Campo de Pinguim (Reino Unido), indicando o mesmo padrão de fluidização e fragmentos de folhelho (Hurst & Cartwright, 2007).

9. PROPRIEDADES DOS RESERVATÓRIOS

Os injectitos que ocorrem no Mar do Norte possuem excelentes características para uma rocha reservatório de óleo e gás, com ótimas interconexões. O gráfico elaborado por Briedis *et al.* (2007) (Figura 46), explicita a relação de porosidade e permeabilidade entre a rocha fonte e as areias injetadas no campo de Balder (Mar do Norte), sendo possível perceber que apesar de uma leve degradação, a relação de permo-porosidade das areias são similares. O mesmo poderia ser esperado dos injectitos que ocorrem na seção marinha brasileira. Já os injectitos da fase rifte do Brasil não apresentam boas condições de reservatório, já que possuem valores baixos de permeabilidade e porosidade, sendo assim considerados “areias fechadas”. Mas é possível, mesmo com essas características, serem encontrados os chamados “sweet spots”, que são “ilhas” de boa permo-porosidade, indicando boas propriedades de reservatório, como o caso, citado anteriormente, das Fácies Pitangóide em relação à Fácies Pitanga na Bacia do Recôncavo.

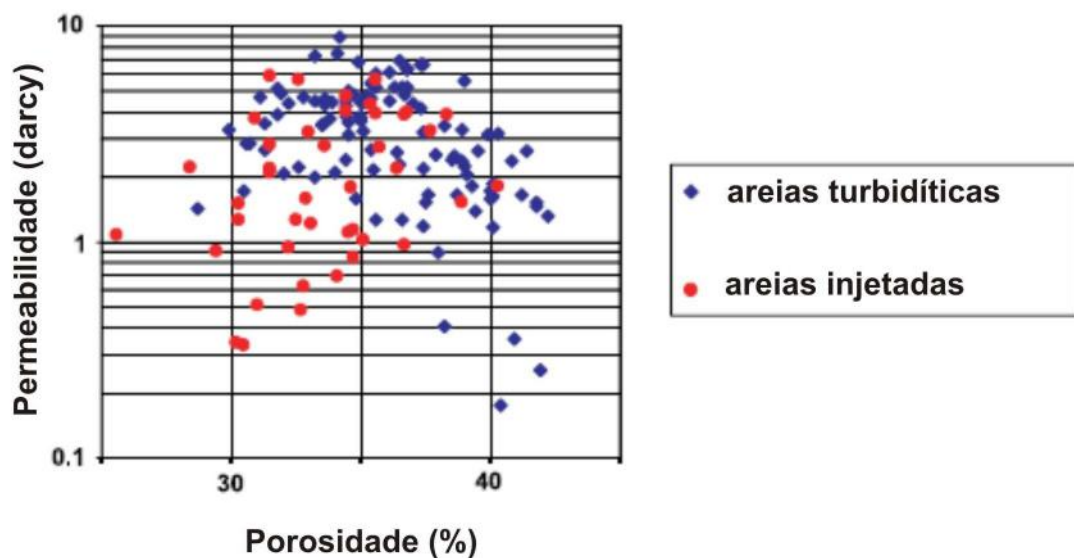


Figura 46 - Relação de permeabilidade x porosidade, entre areias “mães” de origem turbidítica (pontos azuis), e injectitos provenientes da mesma (pontos vermelhos) (Briedis *et al.*, 2007).

No Mar do Norte, a injeção de areia pode melhorar as características de um reservatório, bem como a obtenção de um contato óleo-água uniforme em todo o campo. Já na fase ríft de bacias marginais brasileiras como Recôncavo e Sergipe-Alagoas, esse contato óleo-água é geralmente indefinido, com uma zona de transição, ao invés de um contato nítido, e o corpo de areia pode apresentar diferentes reservatórios de pequeno porte.

Briedis *et al.* (2007), aponta para a grande importância dos injectitos no Campo de Balder (Mar do Norte), por criarem uma interconexão entre reservatórios isolados (de caráter amalgamado), e sendo assim de grande importância na produção do campo. Porém, o autor destaca que o mesmo sistema de injeção não se aplicaria de forma positiva em sistemas petrolíferos onde os reservatórios ocorrem de forma contínua, já que poderiam criar caminhos de escape para o óleo.

10. ORIGEM DOS INJECTITOS

Os trabalhos apresentados por Hurst & Cartwright (2007), assim como os casos de Recôncavo e Sergipe-Alagoas, explicitados neste trabalho, indicam de forma geral, uma origem na formação de injectitos relacionada a impulsos gerados por abalos sísmicos, os quais por sua vez podem estar diretamente ligados ao movimento de grandes falhas. Porém, como será visto nos exemplos a seguir, este processo de injeção pode ser condicionado ou maximizado por outros fatores, como a presença de gás nos poros da rocha.

De acordo com Duranti (2007), complexos de injeção ao redor de acumulações de areias em águas profundas no Mar do Norte, estão relacionadas a uma única fase de fluidização em fraturas pré-existentes, e extrudidas no fundo marinho. A energia das intrusões desses corpos de areia é da ordem de 10^{13} Joules, uma grande quantidade de energia com capacidade de levantar e deslocar uma massa de $3,1 \times 10^{11}$ Kg de material fluidizado. Terremotos de grandes magnitudes seriam capazes de gerar tamanha energia, porém esse tipo de evento não é muito comum em bacias em fase de subsidência térmica. Dessa forma, o autor indica as injeções de hidrocarbonetos como um grande “facilitador” do processo, uma vez que esses já estariam em fase de maturação e migração (Eoceno) e exercendo pressão sobre o sistema. Assim, à medida que a pressão fosse liberada, esse gás presente nos poros do corpo fluidizado, diminuiria ainda mais a densidade do mesmo e aumentaria a turbulência, contribuindo finalmente para a injeção do “corpo”.

Surlyk *et al.* (2007), afirmam que a Formação Hareely foi depositada durante o clímax do mais importante evento de rifteamento do mesozóico, no leste da Gronelândia. A remobilização generalizada de todas as areias da Formação é

interpretada como sendo causada principalmente a partir de impulsos cíclicos provocados por abalos sísmicos, Della Favera (1984) refere-se a uma gênese semelhante para areias maciças que ocorrem na Bacia do Recôncavo. Outros fatores também podem ser incluídos, como o estresse gerado por cisalhamento, o acúmulo de pressão de poros causado pela carga de sedimentos, o movimento ascendente das águas expelidas dos poros de lamas compactadas, e possivelmente a ocorrência de gás biogênico e termogênico.

Thompson *et al.* (2007), interpretou os injectitos da Bacia de Santa Cruz (Califórnia), como o resultado de uma combinação de choques sísmicos e migração de fluidos por diferença de pressão de partes soterradas a grandes profundidades do arenito Santa Margarita.

Na fase rifte da Bacia do Recôncavo, todas as areias, do Rio da Serra ao Jequiá, foram remobilizadas em uma extensão variável, o que implica na presença de uma grande saturação de água nessas rochas durante a deposição e injeção. As condições de armazenamento do hidrocarboneto não importaram nesse momento, já o que o óleo migrou mais tarde, quando as rochas provavelmente já estavam completamente compactadas. Nesse aspecto a injeção de Pitanga, proveniente de uma rocha sedimentar composta por areias e folhelhos, indica uma liberação de energia fantástica. O corpo de areia que ocorre próximo a Madre de Deus, com 1,1 Km de extensão e menos de 400 m de largura, representa provavelmente inúmeros episódios de injeção. A ascensão do corpo implica na injeção de areia em areia, da base para o topo, como fica caracterizado nos afloramentos (Figuras 24 e 25), e representa um processo semelhante à ascensão dos diápiros de folhelho em fraturas pré-existentes. É possível fazer uma alusão a uma máquina de cimento gigantesca, movimentada a partir de energia proveniente de abalos sísmicos,

transformando pacotes ordenados de areias turbidíticas e folhelhos, em uma massa de areia misturada a partes trituradas de folhelhos, através de pulsos de injeção em direção ao topo. O resultado é um arenito apresentando um padrão interno de circunvoluções, separados por chaminés de escape de água, tão comum nas fácies “cerebróide”. Assim, o teor de argila nas areias Pitanga pode chegar a 50%, o que significa uma completa homogeneização e a perda das propriedades de reservatório.

As areias maciças do Membro Pitanga são uma expressão extrema do processo de remobilização. Elas possivelmente foram formadas em locais onde as areias foram espremidas por forças de compressão, provavelmente em blocos com falhas rotacionais. Em outras situações a remobilização de areias não atingiu um estado de homogeneização como o Pitanga. Com isso, as propriedades de reservatório foram relativamente preservadas, caracterizando as chamadas Fácies Pitangóide (designação usada por geólogos da Petrobras).

O mesmo mecanismo de injeção, citado acima para a Bacia do Recôncavo, pode ser aplicado aos sedimentos das fases rifte e transicional da Bacia de Sergipe-Alagoas, já que apresentam padrões de ocorrência muito semelhantes. Na seção drifte, as areias injetadas da Formação Calumbi, se encontram notavelmente associadas a expressivos falhamentos, dos quais o movimento gerou impulsos sísmicos que possivelmente desencadearam o processo de injeção.

Briedis *et al.* (2007) indicam que no Campo de Balder (Mar do Norte), uma parte do material injetado contém fragmentos de rocha, uma outra parte contém pequenos clastos de folhelho, e uma terceira parte não apresenta clastos (maciça). Segundo os autores, estes clastos não podem ser interpretados como clastos

deposicionais, e de acordo com J. C. Della Favera (informação verbal) resultam de contínua separação e fragmentação dos folhelhos intercalados com as areias primárias. No campo de Balder as areias injetadas seriam originárias de areias turbidíticas, e teriam sido injetadas a partir de impulsos gerados por abalos sísmicos.

11. CONCLUSÃO

Os injectitos são arenitos, relativamente comuns em ambientes com grandes espessuras de folhelhos, e preferencialmente sob expressivos regimes tectônicos, característicos das fases rift. A partir da associação proposta nesse trabalho foi possível identificar dois tipos de injectitos. O primeiro são rochas com características de reservatório tão boas quanto à rocha, proveniente de depósitos de águas profundas, fonte da injeção. Em termos de produção de óleo e gás, apresentam um ótimo comportamento, com boa porosidade e permeabilidade, e precisos contatos óleo-água, mantendo a uniformidade da pressão ao longo do campo, o que caracteriza importantes e efetivas interconexões, como relatado no Campo de Balder (Mar do Norte), e como possivelmente deve ocorrer para seções marinhas brasileiras. Por outro lado, as feições de injectitos identificados na fase rifte das bacias de Recôncavo e Sergipe-Alagoas, possuem um padrão normalmente estreito e apresentam-se sob um contexto conhecidamente singular, como contatos óleo-água indefinidos ou transicionais, reservatórios isolados, assim como reservatórios de boa qualidade relacionados à “*sweet spots*”, encontrados por acaso durante a perfuração de poços, como o caso da Fácies Pitangóide na Bacia do Recôncavo.

É possível concluir ao término do presente trabalho que é de suma importância conhecer a origem e o padrão de ocorrência dos injectitos na análise de bacias sedimentares brasileiras que apresentem principalmente seções marinhas relacionadas ao Cretácio Superior – Terciário, para que assim seja possível definir *plays* para a produção de óleo e gás em áreas que estejam afetadas por sistemas de injeção de areia. Muitas ocorrências “anormais” que foram associadas à “fácies de águas profundas”, poderiam ter uma nova interpretação partir deste conceito.

Desta forma, análises detalhadas de injectitos, associando observações em testemunhos, e análise de sísmica 3D, possibilitariam a caracterização de mais um elemento no estudo das bacias sedimentares brasileiras.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragão, M. A. N. F., 1994. Arquitetura, estilos tectônicos e evolução da Bacia do Recôncavo, Brasil. *In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 3, Rio Claro, 1994. *Boletim de Resumos*, Rio Claro, UNESP/IGCE, p. 165-167.
- Briedis, N. A.; Bergslien, D A. Hjellbakk, A.; Hill, R. E. & Moir, G. J. 2007. Recognition criteria, significance to field performance, and reservoir modeling of sand injections in the Balder field, North Sea, *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds.). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Cap. 7, p. 91– 102.*
- Caixeta, J. M.; Bueno, G. V.; MAGNAVITA, L. P. & FEIJÓ, F. J. 1994. Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8 (1): 163 – 172.
- Campos Neto, O. P. A.; Souza Lima, W.; & Gomes Cruz, F. E. 2007. Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15 (2): 405 – 415.
- Della Favera, J.C., 1984. Eventos de sedimentação episódica nas bacias brasileiras. Uma contribuição para atestar o caráter pontuado do registro sedimentar. *In: ANAIS XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, Rio de Janeiro 1984. p.489 - 501.
- Della Favera, J.C. 2001. *Fundamentos da Estratigrafia Moderna*. Rio de Janeiro, EDUERJ. 264 p.
- Duranti, D. 2007. Large-scale sand injection in the Paleogene of the North Sea: Modeling of energy and flow velocities. *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Cap. 11, p. 129 – 139.*
- Falcão, L. & Della Favera, J.C. no prelo. Sublacustrine channel-levee systems – Caruaçu Member, Maracangalha Formation, southwest Recôncavo Basin, Bahia, Brazil.
- Hurst, A. & Cartwright, J. 2007. Relevance of sand injectites to hydrocarbon exploration and production, *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Introduction, p. 1 – 19.*

- Huuse, M.; Cartwright, J.; Hurst, A. & Steinsland, N. 2007. Seismic characterization of large-scale sandstone intrusions. *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Cap. 2, p. 21 – 35.*
- Klein, G. de V.; Melo, U. & Della Favera, J.C. 1972. Subaqueous Gravity Processes on the front of Cretaceous Deltas, Reconcavo Basin, Brazil. *Geol. Soc. America Bull*, v. 83: 1469 - 1492.
- Parize, O.; Beaudoin, B.; Champanhet, J. M.; Frie's, G.; Imbert, P.; Labourdette, R.; Paternoster, B.; Rubino, J. L. & Schneider, F. 2007. A methodological approach to clastic injectites: From field analysis to seismic modeling - Examples of the Vocontian Aptian and Albian injectites (southeast France). *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds.). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Cap. 15, p. 173 – 183.*
- Santos, F. C. & Braga, J. A. 1990. *O Estado da Arte da Bacia do Recôncavo.*
- Schaller, H.; Della Favera, J.C. & Tibana, P. 1980. Roteiro Geológico da Bacia Sergipe-Alagoas. *Relatório Interno da Petrobras*, v. 6.
- Silva, H. T. F. 1993. *Flooding surfaces, depositional elements and accumulation rates-characteristics of the Lower Cretaceous Tectonosequence in the Recôncavo Basin, northeast Brazil.* Universidade do Texas, Tese de doutorado não publicada, 311 p.
- Silva, O. B.; Caixeta, J. M.; Milhomem, P. S. & Kosin, M. D. 2007. Bacia do Recôncavo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15 (2): 423 – 431.
- Surlyk, F.; Gjelberg, J. & Noe-Nygaard, N. 2007. The Upper Jurassic Hareelv Formation of East Greenland: A giant sedimentary injection complex. *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Cap.12, p. 141 – 149.*
- Thompson, B. J.; R. E. Garrison, R. E. & J. C. Moore, J. C. 2007. A reservoir-scale Miocene Injectite near Santa Cruz, California. *In: HURST, A. & CARTWRIGHT, J. (eds). Sand injectites: Implications for hydrocarbon exploration and production. AAPG Memoir 87, Cap. 13, p. 151 – 162.*