



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR *OFFSHORE* OESTE DA BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

Autora:

JULIANA CAVALCANTE MONTEIRO

Orientadora:

PROF^a. DR^a. VALÉRIA CENTURION CÓRDOBA

Coorientadora:

PROF^a. DR^a. DEBORA DO CARMO SOUSA

Dissertação nº 278/PPGG

Novembro de 2022

Natal/RN, Brasil

JULIANA CAVALCANTE MONTEIRO

**ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS
MARINHOS PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO
NO SETOR *OFFSHORE* OESTE DA BACIA POTIGUAR,
MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada em 29 de novembro de 2022 ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) como requisito à obtenção do Título de Mestre em Geodinâmica e Geofísica, Área de Concentração Geofísica.

BANCA EXAMINADORA:

PROF^a. DR^a. VALÉRIA CENTURION CÓRDOBA
Presidente e orientadora (PPGG-UFRN)

PROF^a. DR^a. DEBORA DO CARMO SOUSA
Membro externo e coorientadora (PPGG-UFRN)

DR^a. LILIANE RABELO CRUZ
Membro externo (PETROBRAS)

DR. PEDRO XAVIER NETO
Membro interno (DGEF/UFRN)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Ronaldo Xavier de Arruda - CCET

Monteiro, Juliana Cavalcante.

Estratigrafia de sequências dos depósitos marinhos profundos do Albiano ao Eoceno no setor offshore oeste da Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira / Juliana Cavalcante Monteiro. - 2022.

78f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal, RN, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Valéria Centurion Córdoba.

Coorientação: Profa. Dra. Debora do Carmo Sousa.

1. Geofísica - Dissertação. 2. Margem Equatorial Brasileira - Dissertação. 3. Bacia Potiguar - Dissertação. 4. Estratigrafia de sequências - Dissertação. 5. Sistemas de águas profundas - Dissertação. 6. Fluxos gravitacionais - Dissertação. 7. Sismoestratigrafia - Dissertação. I. Córdoba, Valéria Centurion. II. Sousa, Debora do Carmo. III. Título.

RN/UF/CCET

CDU 550.3

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento dessa dissertação foi produto de uma imensa rede de apoio que compreendeu meus familiares, mestres e amigos. No primeiro núcleo cito, em especial, meus avós Maria Aparecida e Nelson Monteiro, meu pai José Givanildo Monteiro e meus tios Ana e Edilson Monteiro por me apoiarem em todas as decisões tomadas, acompanharem minha evolução sem nunca questionarem minha capacidade, por serem meus exemplos de honestidade, resiliência e persistência, por me amarem incondicionalmente e me proporcionarem tudo de bom que puderam.

Aos meus mestres deixo a minha gratidão principalmente à Prof^a Valéria Centurion Córdoba e à Prof^a Debora do Carmo Sousa, por todos os diálogos realizados, pela paciência e compreensão ao longo do trabalho, pelos exemplos de profissionais que são e, principalmente, pela humanidade presente em cada uma delas, pois diante de uma pandemia me motivaram e ajudaram a recuperar minha confiança para que finalmente eu conseguisse concluir este trabalho. Por fim, e não menos importante, muito obrigada ao Prof. Dr. Vanildo Fonseca por permanecer como um conselheiro ao longo de toda minha história na geologia.

Aos meus amigos cito, no primeiro momento, os de infância: Alyne Vieira, Raissa Araújo e Lucas Dias, por manterem o laço mesmo com todos os compromissos do cotidiano; os amigos de graduação: Dalton Pinheiro, Danielle Silva, Francisco Costa, João Victor Freire, Larisse da Cruz, Lordana Fontinelli, Mateus Amorim, Matheus Wesley, Mércio Segundo e Theodoro Meirelles pelas risadas, conversas de descontração e apoio, e aos meus amigos de laboratório: Ana Karoliny Medeiros, Bárbara Rapozzo, Carla Santos, Francielly de Sá, Gabriel de Lima, João Augusto Cunha, Letícia Brito, Luanny Fernandes, Marcela Zanon, Marília Venâncio, Paulo Sávio e Reinaldo Santos Filho, pelas ajudas técnicas e emocionais proporcionadas.

Deixo também minha gratidão à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por disponibilizar os dados utilizados; ao Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo I (LGGP I), pelo suporte laboratorial; ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo auxílio logístico, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

“Ciência não é uma escolha. É uma necessidade”

Marcelo Gleiser

RESUMO

Formada a partir dos eventos distensivos responsáveis pela fragmentação do Pangea e consequente geração dos continentes Africano e Sul-americano, a Bacia Potiguar faz parte do conjunto de bacias originadas em decorrência da implantação da Margem Equatorial Brasileira. Segmento este, cujos trabalhos voltados a estratigrafia de sequências de águas profundas seguem pouco frequentes. Desta forma, a pesquisa buscou promover um melhor entendimento da evolução tectonoestratigráfica da área de interesse, mais precisamente do intervalo compreendido entre as discordâncias do Albiano inferior e a do Eoceno médio (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007), que por sua vez abrange as sequências da fase drifte transgressiva e sua mudança para a fase drifte regressiva da bacia. Com auxílio de dados de poços, seções sísmicas e de um volume sísmico 3D, a seção alvo deste estudo foi investigada de maneira a se identificar as sequências deposicionais, suas unidades internas, superfícies cronoestratigráficas limítrofes, sismofácies, litofácies e sistemas deposicionais associados. O produto gerado foi a delimitação de oito sequências, denominadas S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e S8, considerando a análise de maior resolução, referente ao dado unidimensional. Em se tratando de resultados atribuídos a dados sísmicos, de natureza mais regional, essas sequências foram agrupadas em três unidades sismoestratigráficas, nomeadas US1, US2 e US3, sendo duas delas, as mais antigas, de caráter transgressivo. Este estudo, calcado em modelos aplicados ao ambiente deposicional marinho profundo, teve por finalidade compreender a natureza da sedimentação na borda da plataforma e sua influência em setores mais distais da bacia, uma vez que tais processos controlam consideravelmente os fluxos gravitacionais responsáveis pelo transporte, dispersão e deposição de sedimentos em águas profundas. Além disso, é importante ressaltar que a Bacia Potiguar possui um histórico exploratório para hidrocarbonetos, até o momento muito focado em sua porção *onshore*. No entanto, as recentes descobertas de óleo em sua bacia correlata no oeste africano, a Bacia de Benin, assinala uma possibilidade real de descobertas de novos *plays* exploratórios nas porções *offshore* desta bacia, notadamente associados a depósitos turbidíticos.

Palavras-chave: Margem Equatorial Brasileira; Bacia Potiguar; Estratigrafia de sequências; Sistemas de águas profundas; Fluxos gravitacionais, Sismoestratigrafia.

ABSTRACT

The Potiguar Basin was created as a result of the distensional events responsible for the fragmentation of Pangea and the consequent creation of the African and South American continents. It is part of the set of basins originated due to the deployment of the Brazilian Equatorial Margin. In the Potiguar basin, detailed studies focused on deep water sequence stratigraphy still remain infrequent. Thus, this research aims to better understand the tectonostratigraphic evolution of the studied area, more precisely within the interval between the early Albian and middle Eocene unconformities (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007), which includes the sequences of the transgressive drift phase and its change to the regressive drift phase of the basin. With well data, seismic lines and a 3D seismic volume, the section of this study was investigated in order to identify the depositional sequences, their internal units, chronostratigraphic boundaries, seismic facies, lithofacies and associated depositional systems. The results of this investigation are eight stratigraphic sequences, named S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 and S8, considering the higher resolution analysis from the well data; these sequences, in the seismic data, were grouped in three seismic stratigraphic units, US1, US2 and US3, with the oldest two of them being transgressive. This study, based on models applied to the deep marine depositional environment, aimed to understand the nature of sedimentation on the shelf edge and its influence on more distal sectors of the basin, since such processes considerably control the gravitational fluxes responsible for the transport, dispersion and deposition of sediments in deep waters. Besides this, it is important to note that the Potiguar Basin has an exploratory history for hydrocarbons, focused on its onshore portion. However, the recent oil discoveries in its correlated basin in West Africa, the Benin Basin, signals a real possibility of discoveries of new exploratory plays in the offshore portions of this basin, mainly associated with turbidite deposits.

Keywords: Brazilian Equatorial Margin; Potiguar Basin; Sequence stratigraphy; Deep-water system; Gravity flows; Seismic stratigraphy.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo inclusa na Bacia Potiguar. Sua construção se deu através dos dados georreferenciados disponibilizados pelo IBGE e pela ANP. 3

Figura 1.2: Quadro-síntese das etapas seguidas para o avanço da pesquisa. 4

Capítulo 2

Figura 2.1: Carta estratigráfica da Bacia Potiguar com destaque para a seção estudada (Pessoa Neto *et al.*, 2007). 9

Capítulo 3

Figura 3.1: Esquema expondo a variação de raio-gama à medida que se altera a litologia. Nele é possível observar que rochas argilosas possuem respostas mais expressivas, quando comparadas a litotipos areníticos, rochas evaporíticas ou carbonáticas. Além disso, matéria orgânica ou minerais potássicos podem interferir nos valores obtidos no perfil (Adaptado de Nichols, 2001). 12

Figura 3.2: Parâmetros interpretativos de raio-gama desenvolvidos para auxiliar na identificação de litologias, padrões de empilhamento envolvidos na deposição do pacote sedimentar, sistemas deposicionais e unidades genéticas da estratigrafia de sequências, ou seja, tratos de sistemas e sequências deposicionais (Emery & Myers, 1996). 12

Figura 3.3: Quadro com as possíveis terminações de refletores. Sendo downlap e onlap padrões associados a limites inferiores, toplap e truncamento erosional referentes a limites superiores e terminações concordantes, encontradas em ambos os casos (Adaptado de Emery & Myers, 1996). 14

Figura 3.4: Configurações dos arranjos internos de um conjunto de refletores utilizados na individualização de uma sismofácies (Adaptado de Mitchum Jr. *et al.*, 1977). 14

Figura 3.5: Geometrias externas associadas a depósitos sedimentares que caracterizam sismofácies (Mitchum Jr. <i>et al.</i> ,1977).	15
Figura 3.6: Diagrama mostrando a maior eficiência de transporte em fluxos de turbidez de baixa densidade. Contudo, ressalta-se que além da inclinação outro fator importante para essa maior distância é a concentração de lama, responsável pela formação de diques marginais que confinam o fluxo ao longo do assoalho (Adaptado de Emery & Myers, 1996).	17
Figura 3.7: Bloco esquemático com os principais elementos deposicionais do sistema de águas profundas. Em (1) <i>canyon</i> submarino, (2) canais e diques marginais, (3) depósitos de <i>crevasse splay</i> , (4) depósitos de <i>overbank</i> , (5) depósito de espreadimento e em (6) macroformas geradas por fluxos de lama. Além disso, observa-se também a presença de perfis esquemáticos relativos as porções proximais, intermediárias e distais de um leque submarino, onde nota-se uma maior concentração de pelitos à medida que se aproxima de regiões distais (Adaptado de Posamentier & Kolla, 2003 e Rider, 1996).	18
Figura 3.8: Modelo esquemático com os tratos de sistemas e tendências deposicionais ao longo de um ciclo completo de variação do nível de base (Adaptado de Catuneanu, 2020).	21

Capítulo 4 – Artigo Científico

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo situada na Bacia Potiguar e banco de dados utilizados na pesquisa. Sua construção se deu através da compilação de dados georreferenciados disponibilizados pelo IBGE e pela ANP.	26
Figura 2: Carta estratigráfica simplificada da Bacia Potiguar ilustrando a seção de interesse, limitada pelas discordâncias do Albiano inferior e a do Eoceno médio, compartimentada nas sequências S1 a S8, as quais integram três unidades sismoestratigráficas, US1 a US3 (Modificada de Pessoa Neto <i>et al.</i> (2007).	28
Figura 3: Intervalos dos poços A à H, evidenciando em (A) os delgados pacotes conglomeráticos intercalados a folhelhos e arenitos. Em (B) e (C) as camadas de arenito com padrões de raio-gama em caixa e em sino invertido, respectivamente. Na imagem (D) observa-se níveis de folhelhos, apresentando padrões irregulares e de sino invertido. Em (E), padrões de raio-gama em sino invertido e irregular, normalmente referente a essas rochas de granulometria mais fina, exemplificado por siltito. Em (F) o padrão em caixa, relacionado aos calcarenitos. Em (G) as delgadas	

camadas de calcilito associadas a margas e folhelhos, cuja análise de raio-gama foi impossibilitada. E, por fim, (H), em que é possível ver um intervalo espesso composto por margas que exibe no perfil de raio-gama padrão variando entre irregular, sino invertido e sino. 32

Figura 4: Diagrama 1D do poço 1-BRSA-1175-CES ilustrando as sequências e tratos de sistemas deposicionais identificados no intervalo de estudo. 36

Figura 5: Diagrama 1D do poço 1-BRSA-1158-CES ilustrando as sequências e tratos de sistemas deposicionais identificados no intervalo de estudo. Diferentemente do poço apresentado na Figura 4, neste poço mostrado aqui, a sequência S1 pôde ser reconhecida. 37

Figura 6: Diagrama 1D do poço 1-BRSA-1205-RNS ilustrando as sequências e tratos de sistemas deposicionais identificados no intervalo de estudo. Neste setor da bacia, observa-se um domínio de sedimentação pelágica, sem mudanças texturais frequentes. 38

Figura 7: Quadro-síntese apresentando as características descritivas e a interpretação e associação litológica das sismofácies reconhecidas nos dados sísmicos estudados. 40

Figura 8: Em (A) Seção sísmica L3 extraída do Levantamento Sísmico 2D R0003_GRAND_NORTH. Em (B) há destaque para o intervalo analisado na porção plataformar, com as sismofácies reconhecidas em (C) e superfícies de importância estratigráfica na imagem (D). Em (E) o poço 1-CES-10-CE atravessado pela seção, demonstrando a US1, iniciada pelos depósitos da Formação Açu, seguidos pelas rochas carbonáticas da Formação Ponta do Mel e, por fim, a US3 com predomínio de rochas pelíticas. As imagens geradas têm exagero vertical de 8x. 45

Figura 9: Em (A) seção sísmica 253362176 extraída do volume 3D. Em (B) o poço 1-CES- 121-CE interceptado pela seção, contendo rochas carbonáticas pertencente à Formação Ponta do Mel na porção correspondente à US1, tal como o predomínio de rochas pelíticas da Formação Ubarana na US3. Em (C) há destaque para o intervalo analisado, com as sismofácies reconhecidas em (D) e superfícies de importância estratigráfica em (E). 46

Figura 10: Em (A) seção sísmica 67043328 extraída do 3D. Em (B) a interpretação do dado através de sismofácies já associadas aos horizontes sísmicos delimitados a partir de terminações de refletores e demais características sísmicas, respectivamente. As figuras geradas utilizaram exagero vertical de 5x. 47

Figura 11: Quadro-resumo especificando as escalas utilizadas, a natureza composta das unidades sismoestratigráficas identificadas e as ordens de grandeza das sequências (Adaptado de Catunenau, 2019b). 49

Figura 12: Em (A) seção sísmica 342491136 extraída do volume 3D. Em (B) há destaque para o intervalo analisado, com as sismofácies reconhecidas em (C). Em (D) o poço 1-BRSA-69A-CES interceptado pela seção, contendo rochas pertencentes a Formação Quebradas na porção correspondente às unidades sismoestratigráfica 1 e 2 e os litotipos da Formação Ubarana no setor atribuído a Unidade Sismoestratigráfica 3. Em (E) o modelo aplicado de Catuneanu (2020), que por sua vez faz relação entre o tipo de depósito esperado, o que foi visto em poço e sua manifestação na sísmica. De maneira que em (1) temos o chamado Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Normal de Nível Baixo, em (2) uma junção dos tratos de sistemas sísmicos Transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto, e em (3) e (4) Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Forçada, diferenciados apenas pela ocorrência de tipos distintos de sismofácies, interpretadas respectivamente como turbiditos de alta densidade e fluxo de grãos grossos. 53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1 PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇOS	11
3.2 SISMOESTRATIGRAFIA.....	13
3.3 ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS EM ÁGUAS PROFUNDAS	15
3.3.1 Processos sedimentares.....	16
3.3.2 Elementos deposicionais.....	17
3.3.3 Ciclos estratigráficos	20
4. RESULTADOS	22
<i>Artigo Científico: Estratigrafia de sequências dos depósitos marinhos profundos do Albiano ao Eoceno no setor offshore oeste da Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira</i>	
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS
PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR OFFSHORE OESTE DA
BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO
MATERIAIS E MÉTODOS

MONTEIRO (2022)
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Este documento é apresentado para a defesa da Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A presente proposta de pesquisa intitulada “Estratigrafia de sequências dos depósitos marinhos profundos do Albiano ao Eoceno no setor *offshore* oeste da Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira” busca promover um entendimento da evolução tectonoestratigráfica em águas profundas da Bacia Potiguar, compreendendo os estratos depositados entre as discordâncias do Albiano inferior e a do Eoceno médio (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007).

O desenvolvimento deste trabalho foi encorajado devido a necessidade de um maior número de estudos à luz da Estratigrafia de Sequências no segmento de águas profundas, isto porque esse viés estratigráfico representa uma importante ferramenta para a indústria petrolífera que se encontra expandindo suas fronteiras exploratórias. Neste contexto a Margem Equatorial Brasileira possui destaque, seja pelo histórico de exploração de hidrocarbonetos existente ou ainda por possuir semelhanças com recentes descobertas na Guiana, Suriname e na África Ocidental (Morais, 2013; Nelson, 2016).

Diante disso, buscou-se utilizar dados sísmicos e dados de poços que foram analisados conforme conceitos da sismoestratigrafia e aqueles difundidos por Catuneanu (2006, 2019^a, 2019^b e 2020) para assim identificar sistemas deposicionais, superfícies de importância estratigráfica, tratos de sistemas deposicionais e, conseqüentemente, sequências que corroborem na compreensão dos processos relacionados ao desenvolvimento da seção de interesse e à evolução da Margem Equatorial brasileira como um todo.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Potiguar, principal foco deste estudo, está situada no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, abrangendo o Estado do Rio Grande do Norte e parte do Estado do Ceará, sendo limitada, a oeste, pelo Alto de Fortaleza, onde faz limite com a Bacia do Ceará, e a leste pelo Alto de Touros. A porção marítima da bacia se estende para norte até a isóbata de 2.000m e o setor *onshore* faz fronteira a sul com

as rochas Pré-cambrianas da Província Borborema. Sua dimensão é de aproximadamente 48.000 km², dos quais 26.500 km² se encontram submersos (Pessoa Neto *et al.*, 2007).

A área de interesse encontra-se submersa no extremo oeste da Bacia Potiguar, a cerca de 140 km do centro urbano de Mossoró, segundo maior município do Estado do Rio Grande do Norte, e a aproximadamente 150 km de Fortaleza, capital cearense (Figura 1.1).

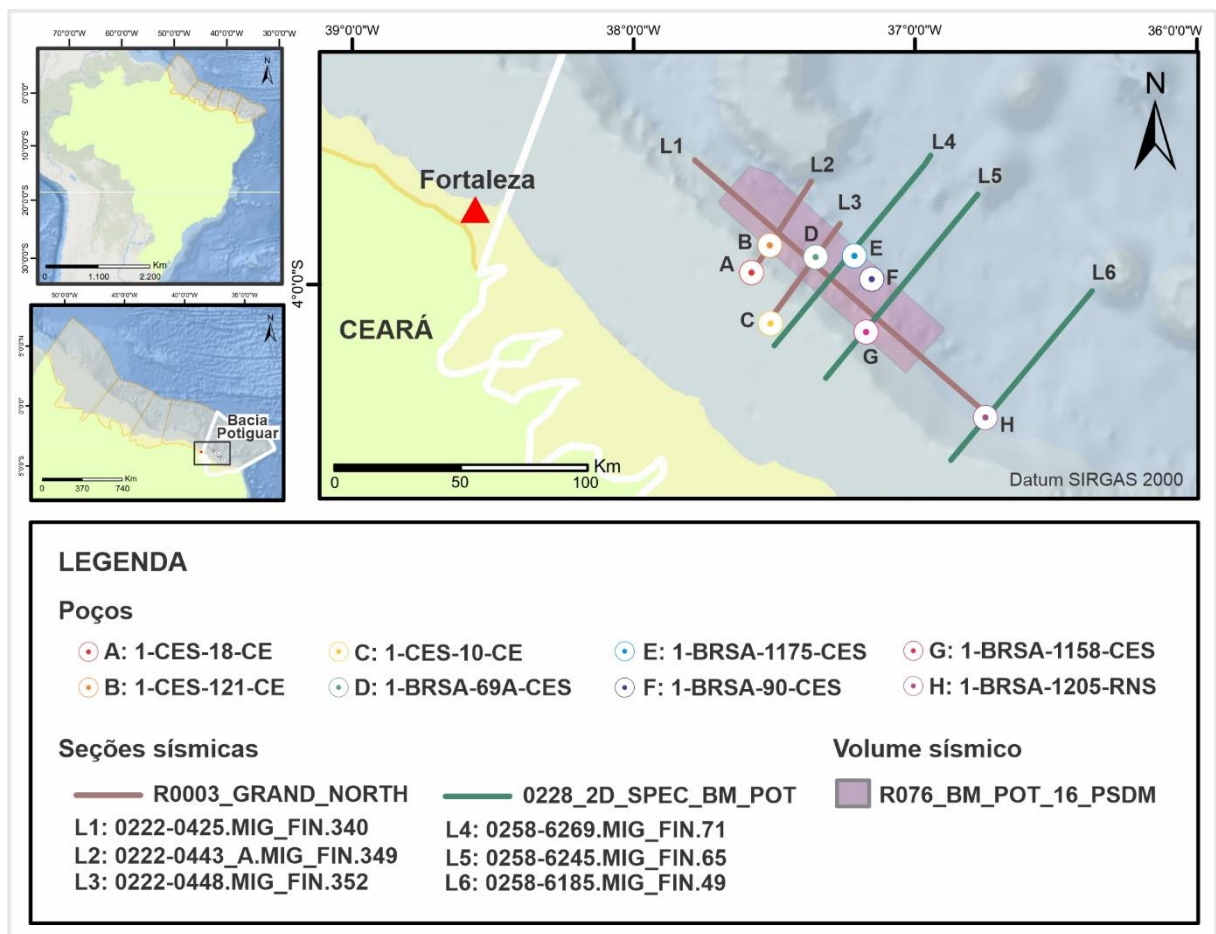


Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo incluída na Bacia Potiguar. Sua construção se deu através dos dados georreferenciados disponibilizados pelo IBGE e pela ANP.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram sistematizadas seis etapas principais, sendo elas (1) seleção e aquisição do banco de dados; (2) levantamento bibliográfico; (3) análise de dados de poços e confecção de diagramas 1D; (4) carregamento e interpretação de dados sísmicos no *software* de interpretação sísmica

Petrel E&P da Schumberger; (5) integração dos resultados obtidos nas duas etapas anteriores e, por fim, (6) confecção do artigo científico e defesa da dissertação de mestrado (Figura 1.2).

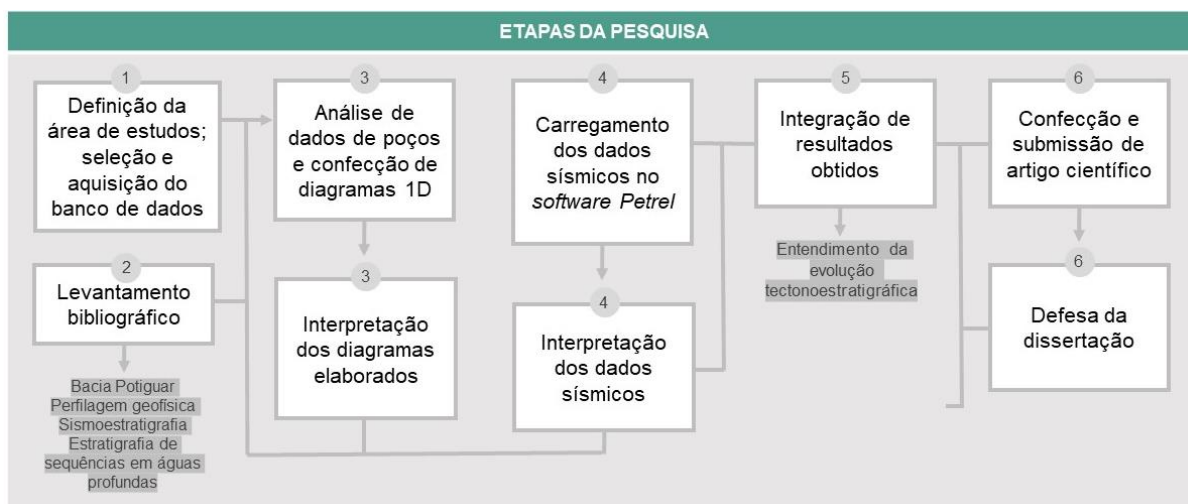


Figura 1.2: Quadro-síntese das etapas seguidas para o avanço da pesquisa.

A etapa (i) foi referente ao processo de seleção e aquisição de dados junto à ANP. A princípio a área de trabalho foi definida considerando o setor com maior concentração de poços e seções sísmicas na região de águas profundas. Esses elementos foram qualificados de acordo com sua profundidade, idade de levantamento e correlação entre eles. Em seguida, com todo os dados de interesse definidos foi feito um cadastro no Sistema Eletrônico de Informações da ANP que possibilitou o envio de todo o material necessário para esta pesquisa, sendo ele composto por oito poços, seis seções sísmicas dos levantamentos R003_GRAND_NORTH e 0228_2D_SPEC_BM_POT e o volume sísmico R076_BM_POT_16_PSDM (Figura 1.1).

A etapa (ii), associada ao levantamento bibliográfico teve a finalidade de promover o entendimento do arcabouço estrutural e tectonossedimentar da Bacia Potiguar, além de esclarecer os conceitos e aplicações da estratigrafia de sequências em águas profundas, para que assim fosse feita uma base teórica consistente que facilitasse a análise dos dados. É importante ressaltar que a busca por material bibliográfico se manteve presente ao longo de todo o trabalho.

Na etapa (iii) todo conteúdo presente nos perfis compostos, relatórios de poço e arquivos AGPs dos dados unidimensionais foram analisados para obtenção de

dados geofísicos, cronoestratigráficos e litoestratigráficos que auxiliassem na identificação de ciclos, diferenciados a partir de variações texturais, e consequentemente padrões de empilhamento, tratos de sistemas deposicionais e por fim sequências. Para melhor visualizar essas informações diagramas 1D foram confeccionados no *software* CorelDRAW 2020.

Por fim, na etapa (iv) os dados sísmicos adquiridos foram carregados no *software* Petrel E&P da Schumberger, tal como os poços, de forma a dá início a fase de interpretação que se dispôs através do reconhecimento de falhas, horizontes cronoestratigráficos importantes e por fim padrões de refletores, responsáveis pela caracterização de sismofácies, caracterizadas por amplitude, frequência, continuidade, configuração de refletores e geometria externa. Para facilitar a obtenção desses resultados foram aplicados atributos sísmicos tais como amplitude RMS, *cosine phase*, *sweetness* e o TecVA, desenvolvido por Bulhões & Amorim (2005) a fim de melhor acompanhar a continuidade dos refletores e as discordâncias presentes no intervalo analisado. É importante ressaltar que os dois tipos de dados sísmicos não foram carregados juntos, porque as seções sísmicas foram processadas em tempo e o volume sísmico em profundidade. Esta particularidade do dado 3D facilitou a correlação com os dados do poço. Em contrapartida, a amarração poço-sísmica nas linhas 2D foram possibilitadas a partir dos dados *checkshots* de cada poço e dos aspectos sismoestratigráficos do dado trabalhado.

Finalmente, na etapa (v), todos os resultados foram integrados a fim de se compreender a evolução tectonoestratigráfica da seção albo-eocênica na porção estudada da Bacia Potiguar, de maneira que se tornou possível a estruturação do artigo e a defesa da dissertação, tal como previsto no estágio (vi).

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS
PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR OFFSHORE OESTE DA
BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

BACIA POTIGUAR

MONTEIRO (2022)
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Associada ao Sistema de Riftes Cretáceos do Nordeste Brasileiro, a Bacia Potiguar foi originada a partir dos movimentos distensionais que resultaram no rompimento do Supercontinente Gondwana e consequente separação das placas Sul-americana e Africana, no Mesozoico. Esse tectonismo foi marcado por estágios de subsidência mecânica e termal que compartimentaram os depósitos sedimentares nas fases rifte, pós-rifte e drifte (Figura 2), que por sua vez se estendem do Eocretáceo ao Holoceno (Bertani *et al.*, 1990; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

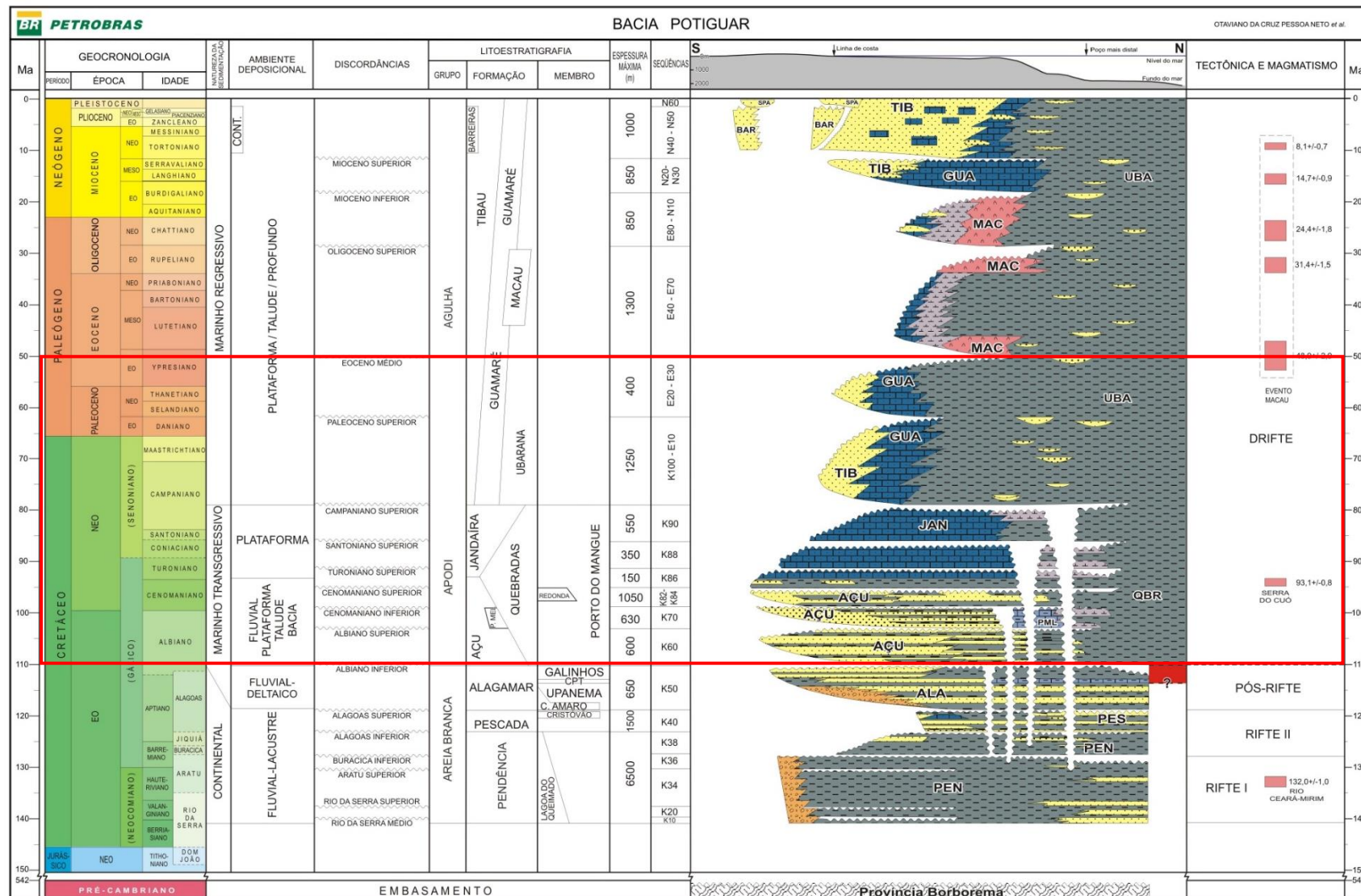
Depositada entre o Neoberriasiano e o Eoaptiano, a Supersequência Rifte constitui-se pelas fases Rifte I e Rifte II. A fase Rifte I é definida por um regime de estiramento crustal, com alta taxa de subsidência mecânica que culminou em calhas tectônicas preenchidas pelos depósitos de leque aluvial, lacustre e flúvio-deltaicos que constituem a porção inferior da Formação Pendência, representando o Neocomiano. Já, a fase Rifte II caracterizou-se como um período transcorrente transformante da bacia, cujos primeiros sedimentos depositados compõem a parte superior da Formação Pendência, de idade barremiana. Sobre essa unidade litoestratigráfica a sedimentação segue com uma natureza clástica, mas com ocorrência de bancos carbonáticos restritos, que por sua vez são referentes à Formação Pescada (Araripe & Feijó, 1994; Cremonini *et al.*, 1996; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

O intervalo Aptiano-Albiano compreende a Supersequência Pós-Rifte que possui litotipos de ambiência transicional da Formação Alagamar posicionando-se sobre a discordância erosiva do Alagoas superior (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007). Em modelos mais recentes, baseados na atividade tectônica da bacia essa fase pode ser somada aos estágios rifte, pois são descritos como um único evento evolutivo (Kuchle & Scherer, 2010; Alvarenga, 2016). A sedimentação deste período ocorreu em um momento de relativa quietude tectônica e é atribuído a depósitos de leque aluvial do Membro Canto do Amaro, depósitos flúvio-deltaicos do Membro Upanema, folhelhos transicionais do Membro Galinhos e folhelhos negros e calcilutitos da Camada Ponta do Tubarão que demarcam o primeiro registro de ingressão marinha na bacia através de um sistema lagunar restrito (Bertani *et al.*, 1990; Araripe & Feijó 1994; Pessoa Neto *et al.*, 2007; Brito, 2020).

Após a total fragmentação de Gondwana, a deriva continental se estabeleceu, resultando na Supersequência Drifte. O pacote sedimentar foi depositado entre o Albiano e o Recente, durante uma fase de subsidência termal, sendo subdividido nas seções fluvio-marinha transgressiva e marinha regressiva (Pessoa Neto *et al.*, 2007).

O Drifte Transgressivo apresenta litotipos siliciclásticos proximais da Formação Açu, depositados pelos sistemas deposicionais de leque aluvial, fluvial e estuarino, os quais gradam lateralmente para sedimentos marinhos distais da Formação Quebradas. No final do Albiano essa configuração alterou-se, uma vez que a plataforma carbonática da Formação Ponta do Mel foi estabelecida. A partir do Cenomaniano ocorreu um período de máxima transgressão, em que a extensa rampa carbonática dominada por maré da Formação Jandaíra foi implantada e se manteve no registro geológico até a Discordância do Campaniano superior (Vasconcelos *et al.*, 1990; Araripe & Feijó, 1994; Córdoba, 2001; Pessoa Neto *et al.*, 2007; Medeiros & Córdoba, 2020).

O Drifte Regressivo se depositou após o evento erosivo do Campaniano, com sedimentação registrada até o Holoceno. Seus litotipos são correlatos às formações Barreiras, Tibau, Guamaré e Ubarana, lateralmente interdigitadas. A Formação Barreiras, com registros a partir do Neomioceno, se encontra na porção proximal da bacia sendo reconhecida como depósitos terrígenos que gradam lateralmente para os arenitos de leques costeiros e litorâneos da Formação Tibau. Esta, por sua vez, à medida que se aproxima da plataforma interdigita-se com as rochas carbonáticas da Formação Guamaré, sendo esta associada ainda, em direção às porções baciais, com pelitos distais e arenitos turbidíticos da Formação Ubarana. (Araripe & Feijó, 1994; Pessoa Neto *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2021).



ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS
PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR OFFSHORE OESTE DA
BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

CAPÍTULO III

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇOS
SISMOESTRATIGRAFIA
ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS EM ÁGUAS
PROFUNDAS

MONTEIRO (2022)
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento da presente pesquisa optou-se por explorar e aprofundar-se em três ferramentas de análise estratigráfica, sendo elas: (a) perfilagem de raio-gama, (b) sismoestratigrafia e (c) estratigrafia de sequências aplicada à sistemas de águas profundas, que quando integradas oferecem uma abordagem mais completa e precisa à pesquisa. Portanto, sabendo da importância no detalhamento dos conceitos envolvidos nos métodos listados, este capítulo tem a finalidade de oferecer um embasamento teórico sobre o que será *a posteriori* discutido.

3.1 PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇOS

A perfilagem geofísica representa um recurso utilizado para registros de propriedades radioativas, elétricas e acústicas das rochas e teve sua origem em 1927, após os irmãos Schlumberger efetuarem a criação de uma única curva contínua de eletroressistividade em um poço da *Pechelbronn Oil Company*. Ao longo do tempo essa técnica foi reformulada e atualmente possui uso expressivo na indústria petrolífera (Ellis & Singer, 2007).

Com isso, a técnica que a princípio gerava curvas de natureza elétrica passaram a medir outras grandezas nos litotipos, entre elas a radioatividade natural adquirida a partir do decaimento de isótopos, responsáveis pela emissão de partículas α , β , γ ou ainda pelo calor liberado. Como resultado tem-se os perfis de raio-gama (GR), cujo produto é gerado por um cintilômetro de escala de radioatividade dimensionada em graus API- unidade criada pelo Instituto Americano de Petróleo (Nery, 1990; Kearey *et al.*, 2009).

Segundo Emery & Myers (1996), as variações em um perfil de raio-gama se dão porque cada rocha sedimentar apresenta uma radioatividade distinta (Figura 3.1), por exemplo, litotipos argilosos possuem maior afinidade com elementos radioativos, o que aumenta os valores registrados pelo cintilômetro, o inverso ocorre com arenitos puros, o que permite a inferência de variações texturais (Figura 3.2).

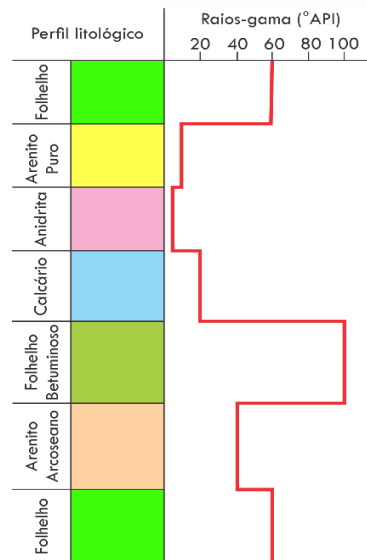


Figura 3.1: Esquema expondo a variação de raio-gama à medida que se altera a litologia. Nele é possível observar que rochas argilosas possuem respostas mais expressivas, quando comparadas a litotipos areníticos, rochas evaporíticas ou carbonáticas. Além disso, matéria orgânica ou minerais potássicos podem interferir nos valores obtidos no perfil (Adaptado de Nichols, 2001).

PADRÕES DE RAIOS-GAMA				
SINO INVERTIDO	SINO	EM CAIXA	SIMÉTRICO	IRREGULAR
PROGRADAÇÃO	RETROGRADAÇÃO	AGRADAÇÃO	PROGRADAÇÃO E RETROGRADAÇÃO	AGRADAÇÃO
Diminuição dos valores de raios-gama para o topo Engrossamento textural para o topo	Aumento dos valores de raios-gama para o topo Afinamento textural para o topo	Valores de raios-gama baixos e constantes, com limites abruptos Comum em arenitos	Descréscimo seguido de aumento de valores de raios-gama Aumento e diminuição nas taxas de sedimentação	Sem mudanças sistemáticas nos valores de raios-gama Comum em pelitos

Figura 3.2: Parâmetros interpretativos de raio-gama desenvolvidos para auxiliar na identificação de litologias, padrões de empilhamento envolvidos na deposição do

pacote sedimentar, sistemas deposicionais e unidades genéticas da estratigrafia de sequências, ou seja, tratos de sistemas e sequências deposicionais (Emery & Myers, 1996).

Contudo, ressalta-se que outros tipos de dados devem ser explorados concomitantemente ao perfil de raio-gama, seja ele amostras de calha, testemunhos e amostras laterais, para assim evitar erros como associar determinado valor a uma rocha argilosa quando na realidade trata-se, por exemplo, de um arenito arcoseano em que a quantidade de potássio presente no pacote sedimentar interferiu na leitura da radioatividade (Emery & Myers, 1996).

3.2 SISMOESTRATIGRAFIA

Reconhecida como o método de interpretação estratigráfica que antecedeu e deu as bases à estratigrafia de sequências, a sismoestratigrafia tem a finalidade de analisar dados sísmicos de reflexão para que assim auxilie no entendimento da evolução tectonossedimentar de um setor ou bacia. Seu uso foi disseminado a partir do *Memoir 26* da Associação Americana de Geólogos do Petróleo (AAPG), isto porque a publicação continha um fluxo sistemático de trabalho que possibilitava a identificação de horizontes sísmicos e padrões gerais de refletores, produtos do contraste de impedância acústica entre rochas (Vail & Mitchum Jr., 1977; Ribeiro, 2001).

Os horizontes anteriormente citados são atribuídos aos limites da unidade elementar da sismoestratigrafia, isto é a sequência sísmica, constituída por uma sucessão de refletores geneticamente relacionados e relativamente concordantes. A identificação desses refletores regionais é possibilitada pela percepção de suas terminações em *downlap*, *onlap*, *toplap*, truncamentos erosionais, ou ainda terminações concordantes (Figura 3.3; Mitchum Jr. *et al.*, 1977).

Outro parâmetro observado para a diferenciação de unidades genéticas são as sismofácies, reconhecidas através da continuidade, amplitude, frequência e configurações internas dos refletores que podem se dispor em paralela, subparalela, divergente, progradante, caótica, transparente, *hummocky*, lenticular, contorcida ou segmentada (Figura 3.4). Esses arranjos vão refletir características que permitem interpretações voltadas a processos deposicionais. Contudo a integração com dados

de poços é fundamental para embasar os modelos que vierem a ser desenvolvidos (Brown Jr. & Fisher, 1977; Mitchum Jr. *et al.*, 1977; Ribeiro, 2001).

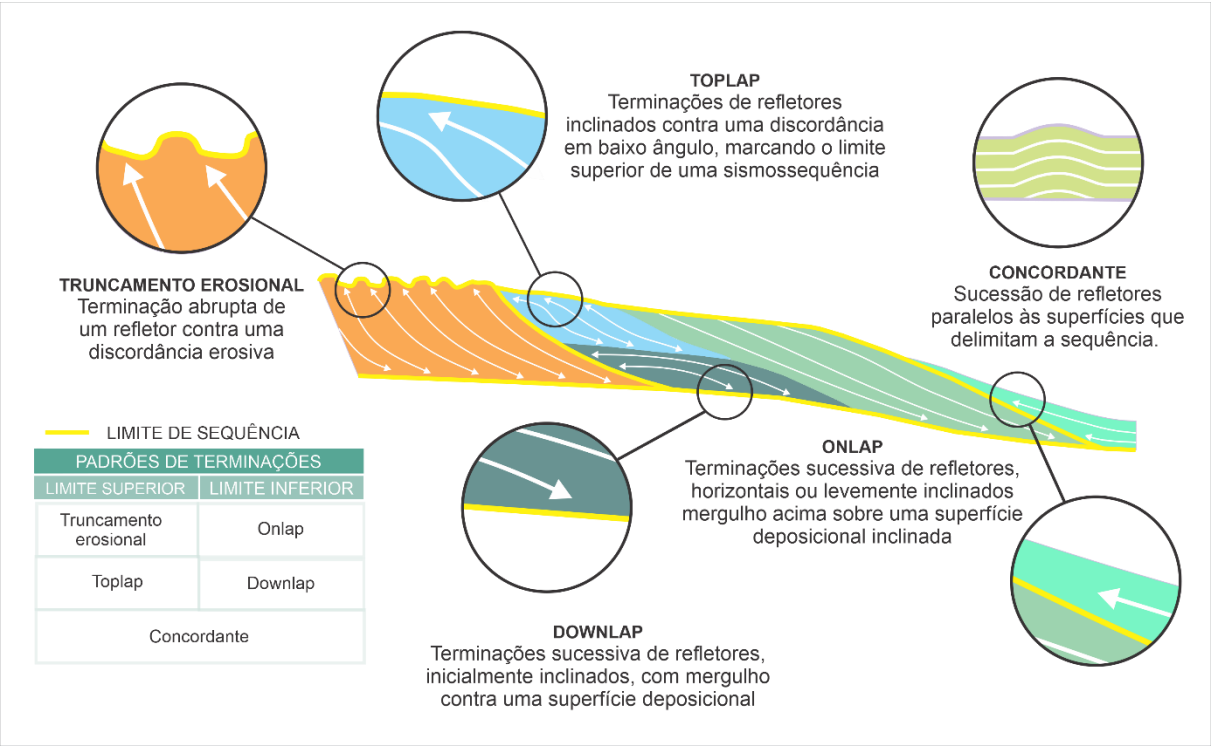


Figura 3.3: Quadro com as possíveis terminações de refletores. Sendo *downlap* e *onlap* padrões associados a limites inferiores, *toplap* e truncamento erosional referentes a limites superiores e terminações concordantes, encontradas em ambos os casos (Adaptado de Emery & Myers, 1996).

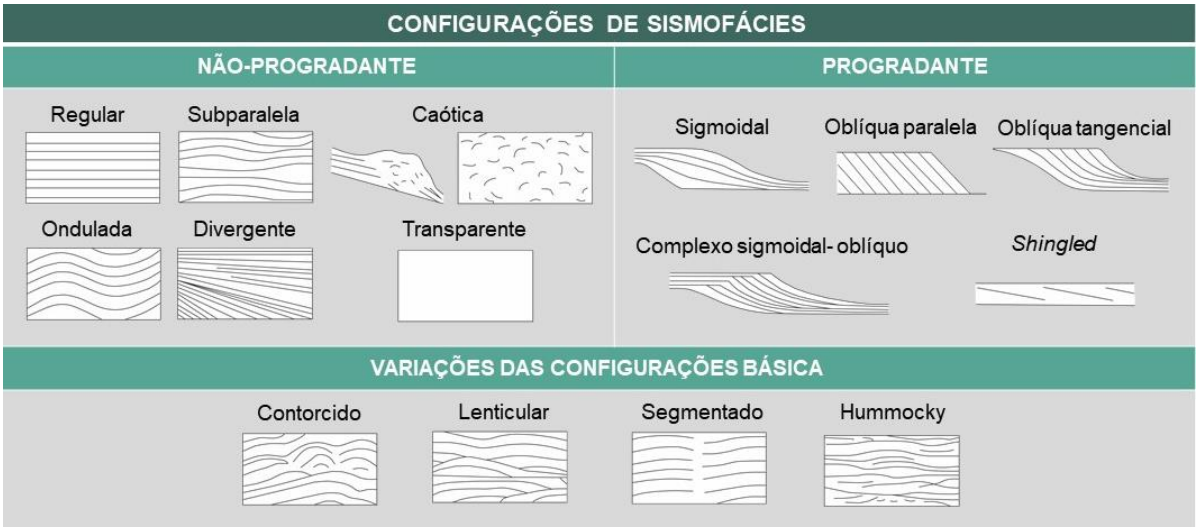


Figura 3.4: Configurações dos arranjos internos de um conjunto de refletores utilizados na individualização de uma sismofácies (Adaptado de Mitchum Jr. *et al.*, 1977).

Buscando uma abordagem tridimensional das sismofácies anteriores, Mitchum Jr. *et al.* (1977) delimitaram ainda as chamadas geometrias externas, em geral utilizadas para a percepção de sistemas deposicionais atuantes na deposição, são elas: lençol, lençol ondulado, cunha, banco, lente, montiformas e geometrias externas de preenchimento de canais, bacias e taludes (Figura 3.5).

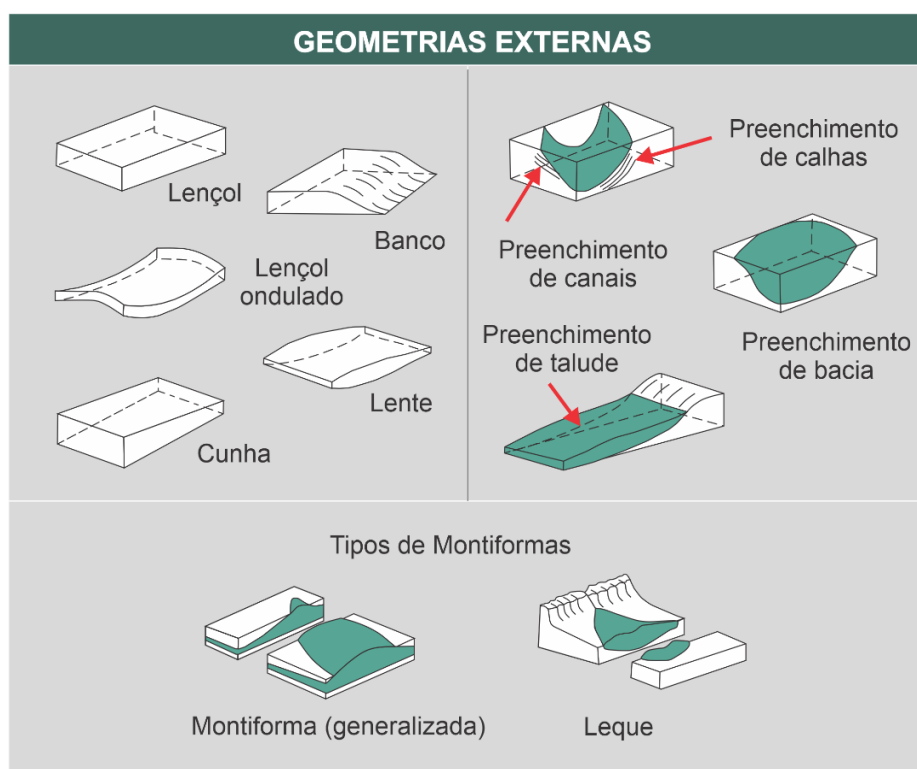


Figura 3.5: Geometrias externas associadas a depósitos sedimentares que caracterizam sismofácies (Mitchum Jr. *et al.*, 1977).

3.3 ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS EM ÁGUAS PROFUNDAS

O segmento da estratigrafia de sequências atribuído a águas profundas inclui o cenário tectônico de margens divergentes que se encontra posterior à borda da plataforma, compreendendo o talude e a planície abissal. Esse setor possui sua sedimentação controlada por um conjunto de leques e rampas submarinas, em que fluxos gravitacionais são os principais responsáveis pelo aporte sedimentar terrígeno vindos do continente. Sendo assim, o sistema de águas profundas não é isolado e se dispõe como um reflexo dos processos que ocorrem ao longo da bacia, o que o torna complexo (Catuneanu, 2006). Desta forma o presente tópico tem como objetivo dissertar sobre os processos envolvidos no sistema de interesse e o reflexo deles

tanto nos elementos deposicionais dos leques submarinos quanto nas unidades de importância estratigráfica passíveis de aplicação.

3.3.1 Processos sedimentares

Apesar da região de águas profundas apresentarem sedimentação controlada por sedimentos pelágicos a hemipelágicos, ou ainda correntes de contorno, o principal agente, como dito anteriormente, são os fluxos gravitacionais. Eles ocorrem durante quase todo o ciclo de mudanças de nível de base, e por vezes a magnitude, a sua classificação e a relação areia/lama podem auxiliar na compreensão dos elementos deposicionais ou ainda nas mudanças de nível de base do sistema (Catuneanu, 2006; Catuneanu 2020).

O máximo de acúmulo de sedimentos em mar profundo, por exemplo, ocorre quando os deltas de plataforma encontram na linha de costa uma acomodação negativa. Consequentemente, a areia não é retida na porção transicional e é levada para setores mais internos a bacia através da incisão de vales fluviais. Com isso, os leques submarinos recebem frações granulométricas mais grossas e fluxos de turbidez de alta densidade são desenvolvidos. Nesta situação, o elemento deposicional dominante será o espriamento frontal (*sandy frontal splays*; Catuneanu, 2006).

Em contrapartida, quando os sistemas fluviais encontram uma acomodação positiva na linha de costa a areia é retida no delta de plataforma o que compromete a chegada de sedimentos mais grossos em águas profundas, isso não implica a não existência de fluxos gravitacionais, pois eles seguem agindo, mas com uma maior concentração de sedimentos finos, atribuídos a turbiditos de baixa densidade. Como produto, o elemento deposicional presente é representado por canais e diques marginais (*leveed channels*), cujas características geomorfológicas imitam sistemas fluviais meandantes que culminam em espriamentos de menores dimensões e distantes da borda da plataforma, isso devido o movimento de fluxos de baixa densidade requerer inclinações pouco expressivas para fluir no assoalho oceânico (Figura 3.6; Catuneanu, 2006).

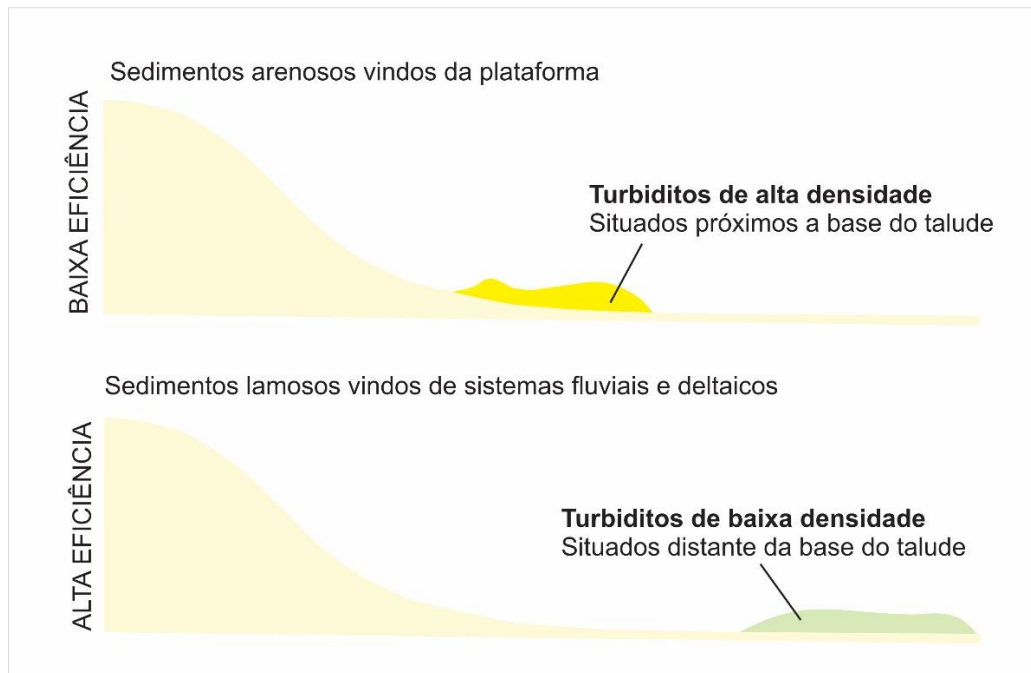


Figura 3.6: Diagrama mostrando a maior eficiência de transporte em fluxos de turbidez de baixa densidade. Contudo, ressalta-se que além da inclinação outro fator importante para essa maior distância é a concentração de lama, responsável pela formação de diques marginais que confinam o fluxo ao longo do assoalho (Adaptado de Emery & Myers, 1996).

3.3.2 Elementos deposicionais

Assim como qualquer outro sistema deposicional, o sistema de águas profundas apresenta litofácies, geometrias e perfis verticais típicos que permitem a construção de um modelo. Esse padrão é dependente dos sedimentos transportados por fluxos de gravidade compostos por uma mistura de areia e lama, cujas proporções granulométricas em cada elemento deposicional irão depender do fornecimento de sedimentos terrígenos, da fisiografia do setor analisado e das mudanças relativas do nível do mar (Sprague *et al.*, 2002; Catuneanu, 2006; Catuneanu, 2020).

Os elementos básicos contidos no sistema apresentam natureza erosional (em porções proximais) e deposicional (situados em setores mais distais), diferenciados ainda de acordo com a canalização de fluxos. Os elementos canalizados contemplam os *canyons* submarinos, canais e diques marginais, ao passo que os não canalizados são associados a depósitos de *overbank* e espraiaamentos, além de macroformas desenvolvidas a partir de fluxos de lama (Figura 3.7; Mutti & Normark 1987; Catuneanu, 2006).

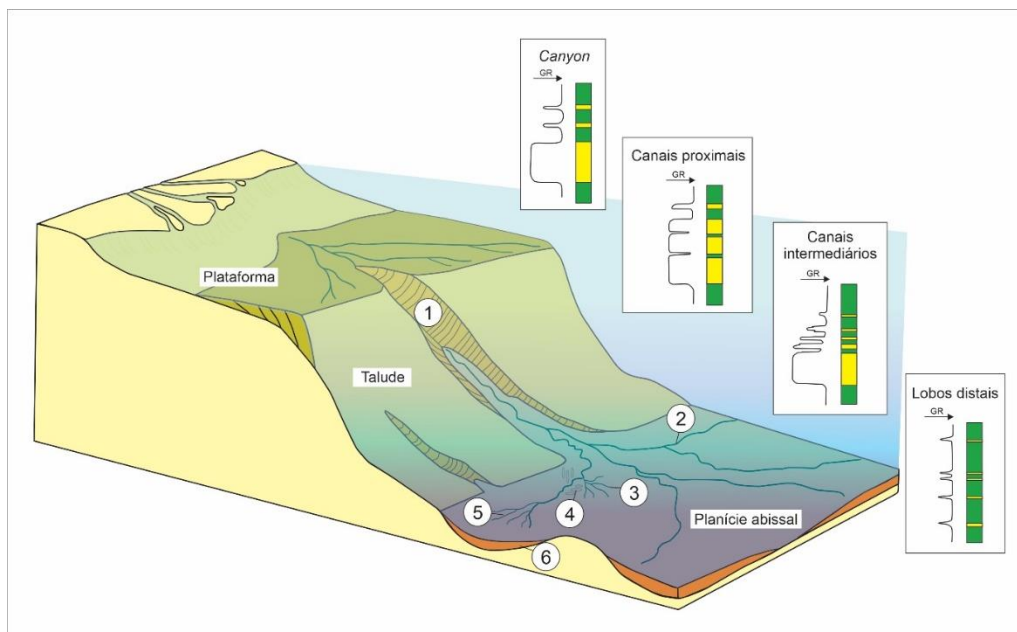


Figura 3.7: Bloco esquemático com os principais elementos deposicionais do sistema de águas profundas. Em (1) *canyon* submarino, (2) canais e diques marginais, (3) depósitos de *crevasse splay*, (4) depósitos de *overbank*, (5) depósito de espraçamento e em (6) macroformas geradas por fluxos de lama. Além disso, observa-se também a presença de perfis esquemáticos relativos as porções proximais, intermediárias e distais de um leque submarino, onde nota-se uma maior concentração de pelitos à medida que se aproxima de regiões distais (Adaptado de Posamentier & Kolla, 2003 e Rider, 1996).

Os *canyons* submarinos são os principais condutos de transporte de sedimentos para o mar profundo, possuindo um preenchimento com litologia variável consequente de processos de instabilidade local das laterais do *canyon* ou de sedimentos vindos do continente. Na primeira situação os estratos formados apresentam granulometria fina, típica de movimentos de massa ricos em lama (*slump* e *slide*), fluxo de detritos, ou ainda sedimentos finos depositados por suspensão. Arenitos grossos e conglomerados também ocorrem, mas como elementos isolados no pacote sedimentar lamoso, com exceção de áreas tectonicamente ativas que permitem o domínio dessas frações granulométricas maiores no preenchimento. Na maioria dos casos, esses sedimentos grossos se depositam por correntes de turbidez de alta densidade (William & Arnott, 2010).

Os canais podem se situar tanto no talude quanto no assoalho da planície abissal e estão geralmente associados a fluxos turbidíticos, possuindo ainda

características semelhantes aos sistemas fluviais. Tal como os rios meandранtes, os canais submarinos possuem alta sinuosidade, normalmente bordejados por diques e depósitos de extravasamento de canal. Seu preenchimento tem natureza mais arenosa em relação aos diques, pois os sedimentos com maiores frações granulométricas se concentram dentro do canal, o que reflete bons reservatórios contínuos. O comprimento desse elemento deposicional é geralmente inversamente proporcional à densidade da corrente de turbidez, de forma que turbiditos de alta densidade acumulam-se perto da base do talude, enquanto que os de baixa densidade avançam para dentro da bacia, permitindo então o desenvolvimento de canais mais longos e sinuosos (Catuneanu, 2006).

Os *levees*, ou diques, são setores que tendem a concentrar sedimentos finos nas bordas do canal a partir de fluxos turbidíticos, principalmente aqueles de baixa densidade, uma vez que sua natureza fina proporciona melhores condições para sua formação. Tal como os diques de sistemas fluviais, os *levees* tendem a apresentar um engrossamento textural para o topo e podem sofrer transbordamentos que permitem a deposição de depósitos de *overbank* ou de extravasamento de canal (*crevasse splay*), sendo este último responsável por fluxos secundários. É importante ressaltar que quando a altura dos *levees* diminuem abaixo de um limite crítico, o fluxo se torna não confinado, levando a uma rápida dissipação de energia e a origem de espraiaamentos frontais (Catuneanu, 2006).

Os espraiaamentos definem-se como laterais e frontais, sendo esses últimos situados a frente do canal. Sua origem se dá quando a energia do fluxo cai e favorece o acúmulo da maior parte de sedimentos. Diferente dos lóbulos de fluxos de lama eles tendem a ser proximais em relação a borda da plataforma e quanto as suas dimensões dependerá do fluxo turbidítico, em correntes de alta densidade os espraiaamentos frontais são superiores, devido um maior fornecimento de sedimentos e o inverso ocorre com correntes de baixa densidade (Catuneanu, 2006).

Por fim, as macroformas de fluxos de lama se dispõem como *sheets* e lóbulos com maior probabilidade de formação em situações em que os pontos de entrada de sedimentos na bacia marinha estão longe da borda da plataforma e o regime de energia gera instabilidade na região. Nesse elemento deposicional há predominância de sedimentos finos no setor distal (Catuneanu, 2006).

3.3.3 Ciclos estratigráficos

A ciclicidade estratigráfica referente a ambientes de águas profundas pode ser caracterizada de acordo com os fluxos de gravidade e com o comportamento dos elementos deposicionais diante das mudanças da linha de costa, isso porque auxiliam na definição dos tratos de sistemas deposicionais de regressão forçada, nível de base baixo, transgressivo e nível de base alto que compõem um ciclo completo (Figura 3.8; Catuneanu, 2020).

O Trato de Sistemas de Regressão Forçada pode ser subdividido em dois estágios, precoce e tardio, a primeira fase situada sobre a Superfície Máxima de Regressão Forçada equivale a um momento em que a linha de costa ainda está longe da borda da plataforma, que por sua vez lida com processos de instabilidade e retrabalho de sedimentos responsáveis por desencadear fluxos de detritos e *slumps*. Tais correntes de natureza gravitacional envolvem sedimentos finos acumulados na plataforma externa durante a regressão normal de nível alto. Na sísmica reconhece-se esses depósitos através de fácies transparentes a caóticas e elementos erosivos no substrato adjacentes (Catuneanu, 2006).

Já, o Trato de Sistemas de Regressão Forçada Tardio é a etapa mais importante para a evolução de leques submarinos, pois com os pontos de entrada de sedimentos próximos a borda da plataforma e a acomodação negativa em segmentos proximais tem-se uma plataforma amplamente exposta que transfere grandes quantidades de areia para as porções mais profundas da bacia através de correntes de turbidez de alta densidade. A maior parte dos turbiditos formados se acumulam no limite entre o talude e a planície abissal, podendo evoluir para fluxo de grãos grossos. Em dados sísmicos são observados refletores de maior amplitude e concordantes entre si (Catuneanu, 2006).

Em seguida, após a Conformidade Correlativa situada sobre o trato anterior tem-se o início da subida do nível do mar e estabelecimento do Trato de Sistemas de Nível Baixo que se caracteriza por um período de acomodação positiva responsável pela diminuição da quantidade de areia entregue as porções profundas da bacia. Como consequência as correntes de turbidez apresentam uma diminuição na fração areia/lama (turbiditos de baixa densidade), pois os sedimentos transportados para porções mais distais depositam-se em canais fluviais situados na costa. Ao fim deste

trato tem-se como horizonte de importância estratigráfica a Superfície de Regressão Máxima (Catuneanu, 2006).

O Trato de Sistemas Transgressivo é formado pelos estágios precoce e tardio, o primeiro ainda favorece a sedimentação do sistema profundo a partir de turbiditos de baixa densidade, pois os sedimentos de fração granulométrica mais grossa seguem depositados no ambiente transicional. Os turbiditos associados a essa fase adentram ainda mais a bacia em relação ao trato de sistemas anterior. Já na transgressão tardia a linha de costa se dispõe longe da borda da plataforma e os sedimentos continuam depositados na costa, com isso os fluxos de lama atribuídos a este momento são relacionados a instabilidade do talude gerada pelo rápido aumento da profundidade da água na plataforma (Catuneanu, 2006).

O Trato de Sistemas de Nível Alto representa um período sem fluxos de gravidade significativos, devido os pontos de entrada de sedimentos estarem longe da borda da plataforma. Esta por sua vez, se encontra estável, de forma que a sedimentação na região plataformal distal apresenta pelitos menos orgânicos e corpos turbidíticos de baixa densidade. Em porções de águas profundas o desenvolvimento de seções condensadas neste período é algo frequente (Catuneanu, 2006).

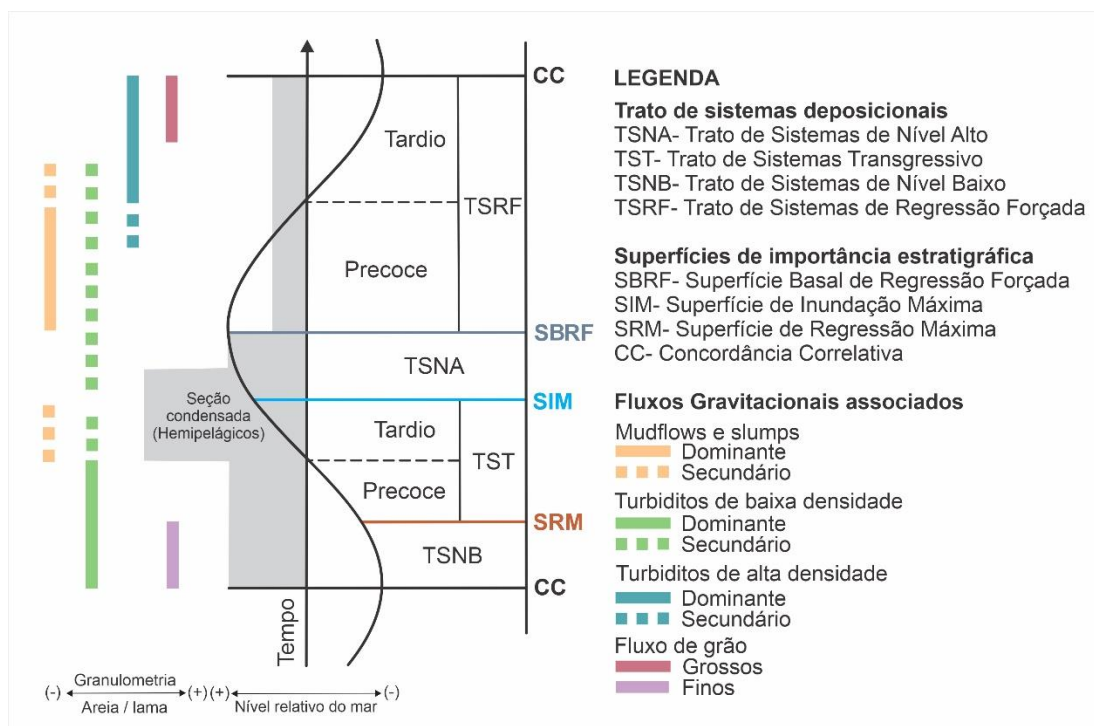


Figura 3.8: Modelo esquemático com os tratos de sistemas e tendências deposicionais ao longo de um ciclo completo de variação do nível de base (Adaptado de Catuneanu, 2020).

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS
PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR OFFSHORE OESTE DA
BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

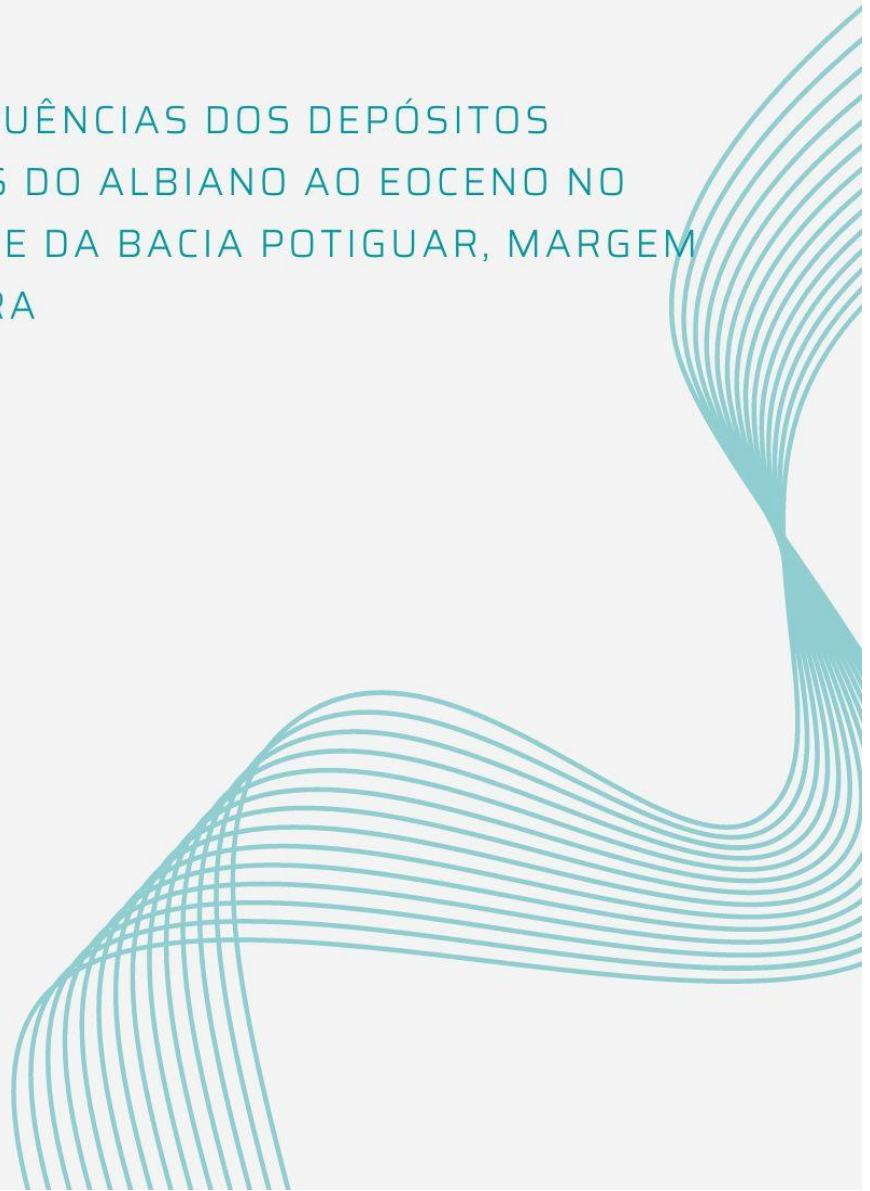
CAPÍTULO IV

RESULTADOS

ARTIGO CIENTÍFICO:

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS
MARINHOS PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO
SETOR OFFSHORE OESTE DA BACIA POTIGUAR, MARGEM
EQUATORIAL BRASILEIRA

MONTEIRO (2022)
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



4. RESULTADOS

Artigo Científico: Estratigrafia de Sequências dos depósitos marinhos profundos do Albiano ao Eoceno no setor offshore oeste da Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira

Sequence stratigraphy of deep marine deposits from Albian to Eocene in the West offshore sector of the Potiguar Basin, Brazilian Equatorial Margin

Juliana Cavalcante Monteiro¹, Valéria Centurion Córdoba^{1,2}, Debora do Carmo Sousa²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Rua das Engenharias, s/n, Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP: 59078-970 Natal, RN, BR, (84) 98840-8143 (jcmonteirogeo@gmail.com; valeria.cordoba@ufrn.br)

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Departamento de Geologia, Natal, RN, BR (debora.sousa@ufrn.br)

RESUMO

A Bacia Potiguar originou-se em decorrência dos eventos distensivos responsáveis pela fragmentação do Pangea, e faz parte do conjunto de bacias formadas em decorrência da implantação da Margem Equatorial Brasileira. O foco desta pesquisa, mais precisamente a seção limitada, inferior e superiormente, pelas discordâncias do Albiano inferior e do Eoceno médio, respectivamente (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007), foi analisada visando um melhor entendimento da sua evolução tectonoestratigráfica. Tal seção inclui todas as sequências da fase drifte transgressiva e as duas mais antigas da fase drifte regressiva da Bacia Potiguar (Pessoa Neto *et al.*, 2007). Com o auxílio de dados de poços e sísmicos, o pacote sedimentar alvo deste estudo foi analisado objetivando a identificação de sequências e de suas unidades internas, caracterizadas com base nas litofácies, sismo fácies e sistemas deposicionais reconhecidos, bem como pelo posicionamento das superfícies cronoestratigráficas limítrofes. Esta análise resultou na delimitação de oito sequências, denominadas S1 a S8, agrupadas na sísmica em três unidades sismoestratigráficas, US1 a US3. É importante ressaltar que a Bacia Potiguar possui um histórico exploratório para hidrocarbonetos focado em sua porção *onshore*. No entanto, as recentes descobertas de óleo em sua bacia correlata no oeste africano assinalam uma possibilidade real de descobertas de novos plays exploratórios na

porção *offshore* desta bacia, notadamente associados a depósitos turbidíticos. Sendo assim, o presente estudo, calcado em modelos de estratigrafia de sequências aplicados a sistemas marinhos profundos, teve por finalidade compreender a natureza da sedimentação na borda da plataforma e sua influência em setores mais distais da bacia, já que tais processos influenciam os fluxos gravitacionais responsáveis pelo transporte, dispersão e deposição de sedimentos nestes locais.

Palavras-chave: Margem Equatorial Brasileira; Bacia Potiguar; Estratigrafia de Sequências; Sistema marinho profundo.

ABSTRACT

The Potiguar Basin originated due to distensional events during the break-up of Pangea, and is part of the set of basins formed as a result of the development of the Brazilian Equatorial Margin. The focus of this research is the section limited by the lower Albian and middle Eocene unconformities (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007), which was analyzed aiming at a better understanding of the tectonostratigraphic evolution. This section includes all sequences of the transgressive drift phase and the two oldest of the regressive drift phases of the Potiguar Basin (Pessoa Neto *et al.*, 2007). With the aid of wells and seismic data, the target sedimentary succession of this study was analyzed in order to identify sequences and their internal units, characterized based on lithofacies, seismic facies and depositional systems, as well as, by the position of the bordering chronostratigraphic surfaces. This analysis resulted in the definition of eight sequences, named S1 to S8, grouped in three seismic stratigraphic units, US1 to US3. It is important to note that the Potiguar Basin has an exploratory history for hydrocarbons focused on its onshore portion. However, the recent oil discoveries on its correlated basin in West Africa, signals a real possibility of discoveries of new exploratory plays in the offshore portion of this basin, notably associated with turbiditic deposits. Therefore, this study, based on sequence stratigraphic models applied to deep-water systems, aimed to understand the nature of sedimentation at the shelf edge and its influence on more distal sectors of the basin, as these processes influence the gravity flows responsible for sediment transport, dispersion, and deposition in these areas.

Keywords: Brazilian Equatorial Margin; Potiguar Basin; Sequence Stratigraphy; Deep-water systems.

INTRODUÇÃO

Os depósitos marinhos profundos se situam no cenário tectônico de margens divergentes, mais precisamente, na porção da bacia que inclui o talude e a planície abissal, onde constituem amplos leques e rampas submarinas cuja sedimentação é controlada por sedimentos pelágicos e hemipelágicos, intercalados por fluxos gravitacionais e correntes de contorno. Sua formação é caracterizada como de natureza complexa, isto porque a região de águas profundas é reflexo da interação entre os processos que ocorrem ao longo da bacia (Posamentier & Kolla, 2003; Catuneanu, 2006; De Gasperi & Catuneanu, 2014; Catuneanu 2020).

As litofácies, geometrias e perfis verticais típicos desses sistemas permitem a construção de um modelo dependente dos sedimentos transportados por fluxos de gravidade, compostos por uma mistura de areia e lama cujas proporções granulométricas em cada elemento deposicional irão depender do fornecimento de sedimentos terrígenos, da fisiografia do setor analisado e das mudanças relativas do nível do mar. Esses depósitos formados ao longo de uma sequência vão auxiliar no entendimento da ciclicidade estratigráfica do setor marinho profundo e, conseqüentemente, na evolução do preenchimento de uma bacia sedimentar (Sprague *et al.*, 2002; Catuneanu, 2020).

Tal conhecimento representa uma importante ferramenta na indústria petrolífera, que em busca de novos limites exploratórios vê a Margem Equatorial Brasileira como um setor em destaque, seja pelo histórico de exploração de hidrocarbonetos existente, ou ainda, por possuir semelhanças com recentes descobertas na Guiana, Suriname e na África Ocidental (Morais, 2013; Nelson, 2016).

Este domínio sedimentar desenvolveu-se como uma margem transformante marcada por regimes de rifteamento oblíquo e movimentos transcorrentes dextrais que culminaram na separação dos continentes Africano e Sul-americano durante o Eocretáceo. O evento favoreceu divergências tectonoestruturais e deposicionais no segmento de maneira a seccioná-lo nas bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e Potiguar, sendo a última a que abrange o setor aqui analisado (Matos, 2000; Mohriak, 2003; Dickson *et al.* 2003a, b; Matos, 2021).

A Bacia Potiguar situa-se entre os altos de Fortaleza e Touros, compreendendo o Estado do Rio Grande do Norte e parte do Estado do Ceará (Araripe & Feijó, 1994). A área de estudo, tal como os dados analisados, está contida na sua porção oeste.

Nesta porção, ressalta-se uma carência de trabalhos com ênfase à estratigrafia de seqüências aplicada à sedimentação em águas marinhas profundas (Figura 1).

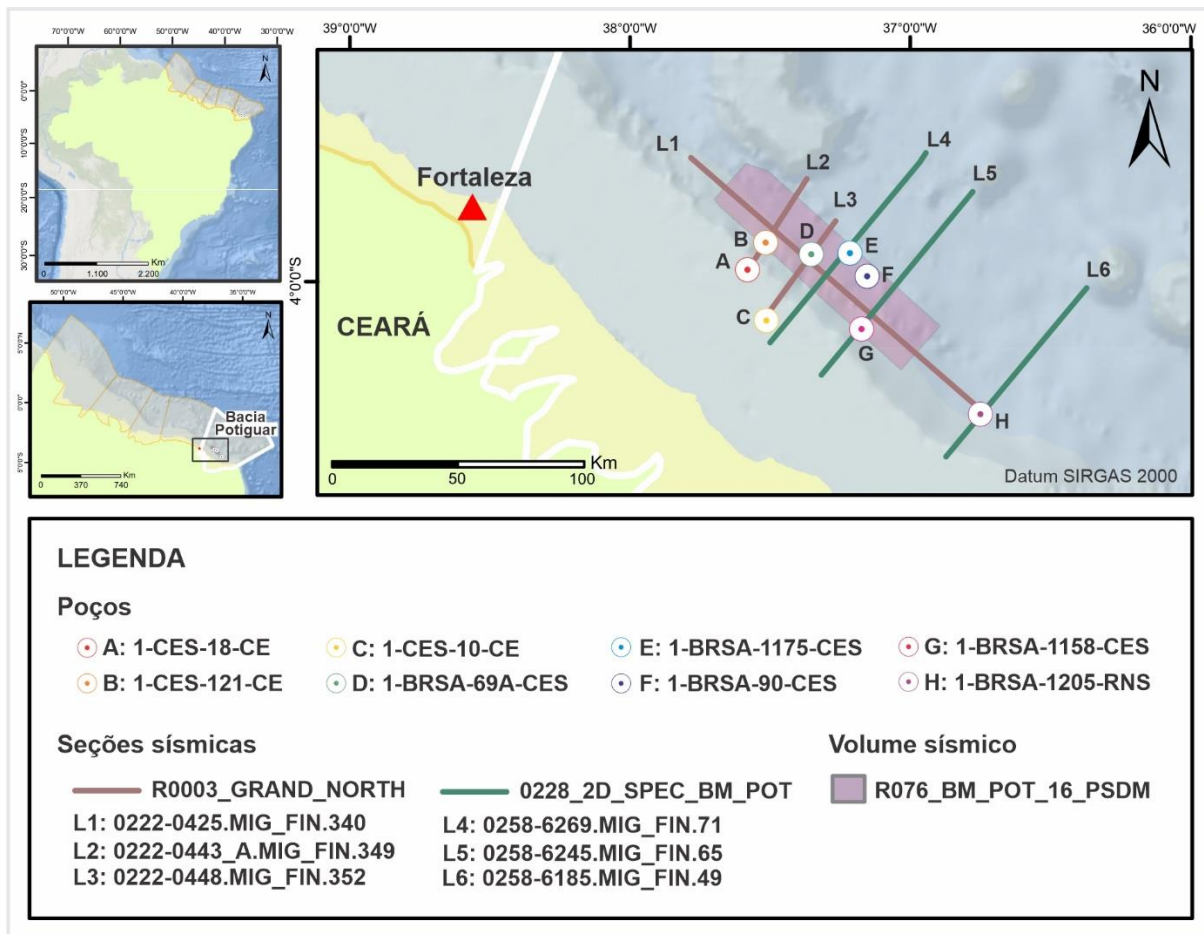


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo situada na Bacia Potiguar e banco de dados utilizados na pesquisa. Sua construção se deu através da compilação de dados georreferenciados disponibilizados pelo IBGE e pela ANP.

Sendo assim, esta pesquisa visou mitigar essa carência, e com base na estratigrafia de seqüências aplicada a sistemas marinhos profundos, envolveu uma fase de análise sedimentológica com o reconhecimento de litofácies e a interpretação dos sistemas deposicionais, seguida de uma fase de análise estratigráfica, que visou o posicionamento de superfícies de caráter cronoestratigráfico, a caracterização dos padrões de empilhamento e a identificação de seqüências. Ao final, foi possível a definição de um arcabouço cronoestratigráfico mais detalhado, a compreensão da evolução da seção albo-eocênica da Bacia Potiguar e, por fim, a indicação de possíveis rochas reservatório, na porção estudada.

MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados utilizada nesta pesquisa foi disponibilizada pelo BDEP da ANP e consiste em dados de oito poços, seis seções sísmicas *post-stack*, sendo cinco

crosslines e uma *inline*, e um volume sísmico de aproximadamente 2.500 km² migrado em profundidade. Este material foi analisado seguindo-se de cinco etapas de trabalho: (i) seleção e aquisição da base de dados, (ii) levantamento bibliográfico, (iii) análise de poços, (iv) análise sísmica e (v) integração dos resultados.

A etapa (i) foi destinada a analisar todos os poços mais distais do setor *offshore* oeste da bacia, visando selecionar aqueles que atingiram profundidades maiores e que apresentam um conjunto mais completo de informações.

Na etapa (ii), realizada ao longo da pesquisa, foi feito um levantamento bibliográfico no que se refere a estratigrafia de sequências em sistemas de águas profundas e referências atribuídas a bacia de interesse.

Após compreender o modelo deposicional básico e a história evolutiva da bacia, os dados de poços foram integrados e interpretados na etapa (iii), resultando em diagramas 1D criados no CorelDRAW®, os quais ilustram as litofácies, os padrões de empilhamento, os ciclos estratigráficos e as sequências deposicionais, estas últimas estabelecidas com base no posicionamento de topos cronoestratigráficos presentes nos perfis ou arquivos gerais dos poços.

O passo (iv), realizado através do *software* interpretação sísmica Petrel E&P da Schumberger, teve como objetivo a geração de imagens que permitiram a identificação de terminações e arranjos de refletores e, conseqüentemente, a identificação de superfícies de importância estratigráfica e fácies sísmicas, descritas por características como amplitude, frequência, continuidade, configuração de refletores e geometria externa. Para facilitar a obtenção desses resultados foram aplicados atributos sísmicos tais como amplitude RMS, *cosine phase*, *sweetness* e o TecVA, desenvolvido por Bulhões & Amorim (2005) a fim de melhor acompanhar a continuidade dos refletores e as discordâncias presentes no intervalo analisado.

É importante ressaltar que os dois tipos de dados sísmicos não foram carregados juntos, porque as seções sísmicas foram processadas em tempo e o volume sísmico em profundidade. Esta característica dos dados 3D facilitou a correlação com os dados do poço. Em contrapartida, a amarração poço-sísmica nas linhas 2D foram possibilitadas a partir dos dados *checkshots* de cada poço e dos aspectos sismoestratigráficos do dado trabalhado.

Finalmente, na etapa (v), todos os resultados foram integrados a fim de se compreender a evolução tectonoestratigráfica da seção albo-eocênica na porção estudada da Bacia Potiguar.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Associada ao Sistema de Riftes Cretáceos do Nordeste Brasileiro, a Bacia Potiguar foi originada a partir dos movimentos distensionais que resultaram no rompimento do Supercontinente Gondwana e consequente separação das placas Sul-americana e Africana, durante o Mesozoico. Esse tectonismo foi marcado por estágios de subsidência mecânica e termal que compartimentaram os depósitos sedimentares nas fases rifte, pós-rifte e drifte (Figura 2), que por sua vez se estendem do Eocretáceo ao Holoceno (Bertani *et al.*, 1990; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

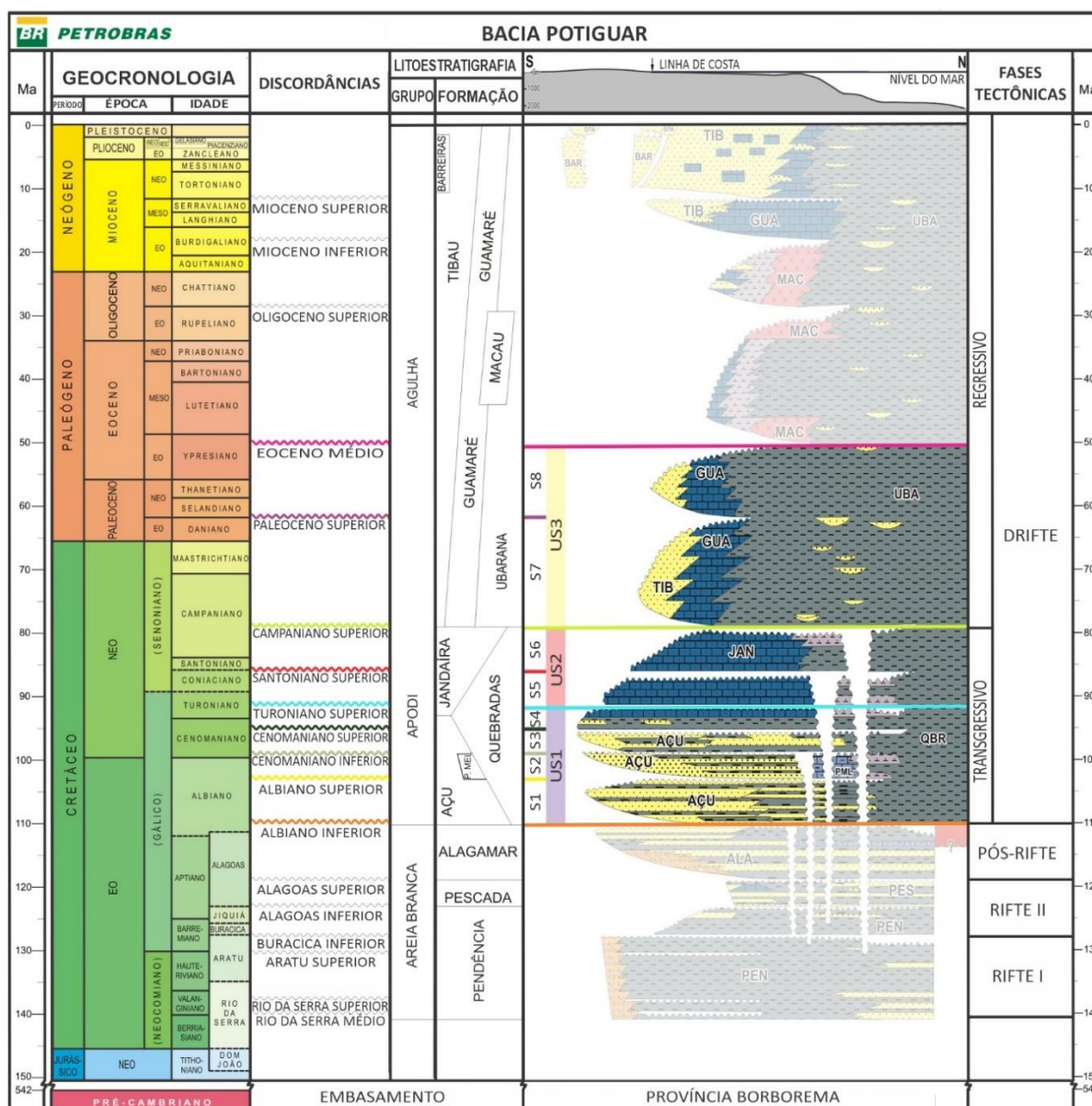


Figura 2: Carta estratigráfica simplificada da Bacia Potiguar ilustrando a seção de interesse, limitada pelas discordâncias do Albiano inferior e a do Eoceno médio, compartimentada nas sequências S1 a S8, as quais integram três unidades sismoestratigráficas, US1 a US3 (Modificada de Pessoa Neto *et al.*, 2007).

Depositada entre o Neoberriassiano e o Eoaptiano, a Supersequência Rifte constitui-se pelas fases Rifte I e Rifte II. A fase Rifte I é definida por um regime de estiramento crustal, com alta taxa de subsidência mecânica que culminou em calhas tectônicas preenchidas pelos depósitos de leque aluvial, lacustre e flúvio-deltaicos que constituem a porção inferior da Formação Pendência, representando o Neocomiano. Já, a fase Rifte II caracterizou-se como um período transcorrente transformante da bacia, cujos primeiros sedimentos depositados compõem a parte superior da Formação Pendência, de idade barremiana. Sobre essa unidade litoestratigráfica a sedimentação segue com uma natureza clástica, mas com ocorrência de bancos carbonáticos restritos, que por sua vez são referentes à Formação Pescada (Araripe & Feijó, 1994; Cremonini *et al.*, 1996; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

O intervalo Aptiano-Albiano compreende a Supersequência Pós-Rifte que possui litotipos de ambiência transicional da Formação Alagamar posicionando-se sobre a discordância erosiva do Alagoas superior (*sensu* Pessoa Neto *et al.*, 2007). Em modelos mais recentes, baseados na atividade tectônica da bacia essa fase pode ser somada aos estágios finais do rifte, pois são descritos como um único evento evolutivo (Kuchle & Scherer, 2010; Alvarenga, 2016; Brito, 2020). A sedimentação deste período ocorreu em um momento de relativa quietude tectônica e é atribuído a depósitos de leque aluvial do Membro Canto do Amaro, depósitos flúvio-deltaicos do Membro Upanema, folhelhos transicionais do Membro Galinhos e folhelhos negros e calcilutitos da Camada Ponta do Tubarão que demarcam o primeiro registro de ingressão marinha na bacia através de um sistema lagunar restrito (Bertani *et al.*, 1990; Araripe & Feijó 1994; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

Após a total fragmentação de Gondwana, a deriva continental se estabeleceu, resultando na Supersequência Drifte. O pacote sedimentar foi depositado entre o Albiano e o Recente, durante uma fase de subsidência termal, sendo subdividido nas seções fluvio-marinha transgressiva e marinha regressiva (Pessoa Neto *et al.*, 2007).

O Drifte Transgressivo apresenta litotipos siliciclásticos proximais da Formação Açú, que foram depositados pelos sistemas deposicionais de leque aluvial, fluvial e estuarino, os quais gradam lateralmente para litótipos de origem marinha distal, inclusos na Formação Quebradas. No final do Albiano essa configuração alterou-se, uma vez que a plataforma carbonática da Formação Ponta do Mel foi estabelecida. A partir do Cenomaniano ocorreu um período de máxima transgressão, em que a extensa rampa carbonática dominada por maré da Formação Jandaíra foi implantada

e se manteve no registro geológico até a Discordância do Campaniano superior (Vasconcelos *et al.*, 1990; Araripe & Feijó, 1994; Córdoba, 2001; Pessoa Neto *et al.*, 2007; Medeiros & Córdoba, 2020).

O Drifte Regressivo se depositou após o evento erosivo do Campaniano, com sedimentação registrada até o Holoceno. Seus litotipos são correlatos às formações Barreiras, Tibau, Guamaré e Ubarana, lateralmente interdigitadas. A Formação Barreiras, com registros a partir do Neomioceno, se encontra na porção proximal da bacia sendo reconhecida como depósitos terrígenos que gradam lateralmente para os arenitos de leques costeiros e litorâneos da Formação Tibau. Esta, por sua vez, à medida que se aproxima da plataforma interdigita-se com as rochas carbonáticas da Formação Guamaré, sendo esta associada ainda, em direção às porções baciais, com pelitos distais e arenitos turbidíticos da Formação Ubarana. (Araripe & Feijó, 1994; Pessoa Neto *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2021).

RESULTADOS

Os resultados gerados nesta pesquisa foram oriundos de duas etapas que compreenderam a análise, integração e interpretação de dados de poços, realizada a partir da compilação de informações provenientes de perfis compostos, AGPs (Arquivos Gerais dos Poços) e pastas de poço, e a análise sismoestratigráfica das seções 2D e do volume sísmico.

Análise litofaciológica de poços

As litofácies reconhecidas nos poços são atribuídas a conglomerados, arenitos, folhelhos, siltitos, margas, calcarenitos, calcilutitos e rochas de natureza não sedimentar (ígneas intrusivas e metamórficas), cada uma delas melhor detalhadas a seguir.

Conglomerados

Reconhecidos apenas no poço 1-BRSA-1175-CES, se dispõem entre as discordâncias do Albiano inferior e do Albiano superior, possuindo tonalidades que variam entre cinza claro a acastanhado, matriz arenosa, grãos subarredondados e composição secundária constituída por minerais micáceos, calcíferos ou caoliníticos. Em geral, se apresentam intercalados com arenitos finos e folhelhos (Figura 3A). Por não terem espessuras significativas na escala utilizada, não foi possível uma definição mais precisa de típicos padrões nas curvas de raio-gama.

Arenitos

Dividem-se em duas subfácies distintas: (i) arenitos hialinos de granulometria muito fina a média, bem selecionados e de grãos subarredondados a subangulosos, normalmente associados a pacotes de folhelhos, ou ainda, em menor frequência, a siltitos, margas e calcilutitos; (ii) arenitos hialinos com predominância de grãos grossos a muito grossos, mal selecionados, com grãos de natureza subangulosa a subarredondada, os quais se dispõem intercalados com folhelhos nos depósitos situados próximos à Discordância do Eoceno médio. A subfácies (ii) da litofácies *Arenitos* também pode estar intercalada com calcilutitos, margas, calcarenitos e rochas vulcânicas (de forma pontual, apenas no poço 1-BRSA-69A-CES).

No tocante aos padrões nos perfis de raio-gama é importante ressaltar que pacotes expressivos de arenitos quase não foram encontrados na seção estudada, de maneira que os típicos padrões em caixa só foram possíveis de serem identificados através de uma análise de maior resolução (Figuras 3B). Outro padrão identificado foi o de sino invertido, possivelmente formado devido à variação da granulometria nos estratos relativos a subfácies de caráter mais grosso (Figura 3C).

Folhelhos

Normalmente se apresentam com tons cinza escuro, cinza claro, castanhos, esverdeados ou em menor frequência negros, sendo este último encontrado nas porções próximas à Discordância do Albiano inferior. No tocante à composição desses litotipos observa-se a presença de pirita, minerais micáceos ou ainda carbonáticos, que interferem nos padrões dos valores de raio-gama visíveis na curva, isso porque além de irregulares é possível observar também padrões em sino invertido ao longo do poço (Figuras 3D). Essas rochas se encontram associadas a todos os litotipos reconhecidos nos dados unidimensionais trabalhados, sendo uma das mais frequentes.

Siltitos

Possuem coloração cinza claro a acastanhado, são calcíferos e raramente piritosos. Sua ocorrência é frequente ao longo do poço 1-BRSA-1175-CES, onde se intercalam com arenitos e folhelhos, e no pacote sedimentar da fase regressiva do poço 1-CES-10-CE, em geral, representada por folhelhos, calcarenitos e calcilutitos. Os padrões dos perfis de raio-gama atribuídos a esta litologia são em sino invertido e irregulares (Figura 3E).

Calcarenitos

São litotipos de coloração creme e tonalidade clara a esbranquiçada, classificados como *packstones* a *grainstones*, de composição bioclástica, raramente piritosa, com processos de recristalização frequentes e intercalados, em geral, com calcilutitos e folhelhos. Sua ocorrência é principalmente relacionada ao início da fase drifte da bacia e a análise dos perfis de raio-gama indica o padrão em caixa dessas rochas (Figura 3F).

Calcilutitos

São descritos como litotipos brancos a acastanhados que variam de *mudstones* a *wackstones*, com composição principal bioclástica e processos de recristalização identificados. Dispõem-se intercalados a margas, calcarenitos ou folhelhos. A análise de padrões de raio-gama foi impossibilitada devido os estratos delgados presentes nos poços (Figura 3G).

Margas

São rochas cinza claras, esbranquiçadas, esverdeadas ou ainda cinza acastanhadas, localmente piritosas e fossilíferas, cuja ocorrência é associada a arenitos, calcilutitos, folhelhos e siltitos. Os padrões de raio-gama reconhecidos são em sino, sino invertido ou irregulares (Figura 3H).

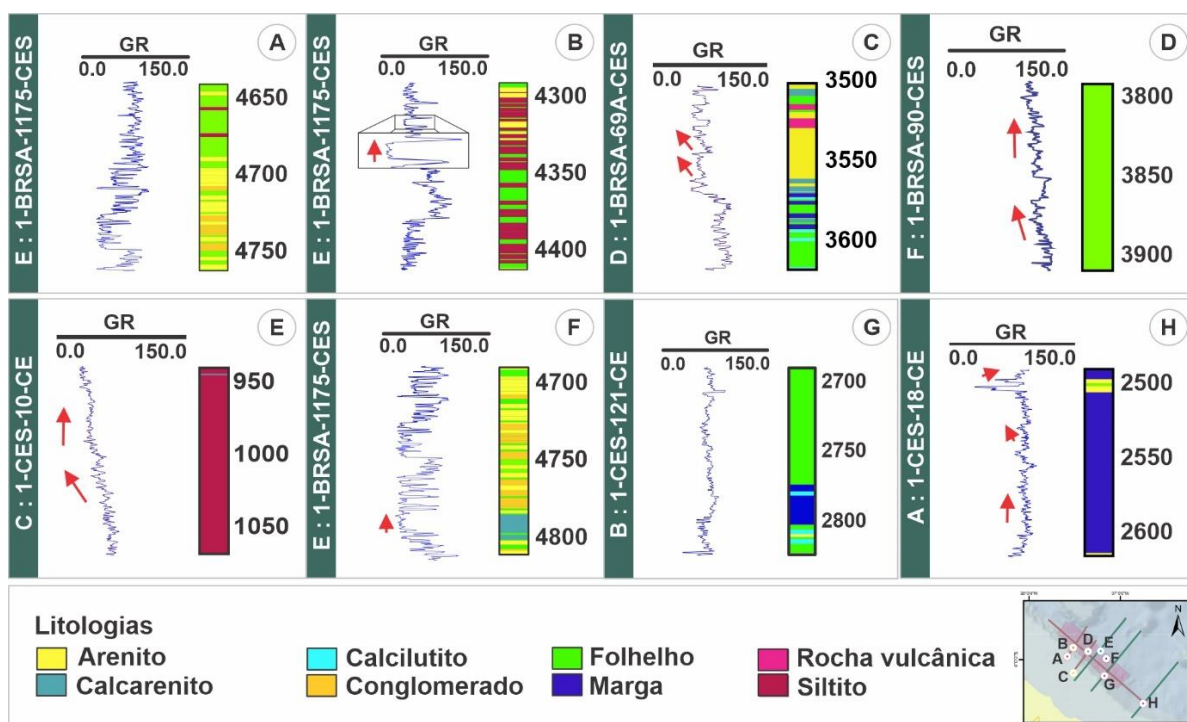


Figura 3: Intervalos dos poços A à H, evidenciando em (A) os delgados pacotes conglomeráticos intercalados a folhelhos e arenitos. Em (B) e (C) as camadas de

arenito com padrões de raio-gama em caixa e em sino invertido, respectivamente. Na imagem (D) observa-se níveis de folhelho, apresentando padrões irregulares e de sino invertido. Em (E), padrões de raio-gama em sino invertido e irregular, normalmente referente a essas rochas de granulometria mais fina, na situação do exemplificado por siltitos. Em (F) o padrão em caixa, relacionado aos calcarenitos. Em (G) as delgadas camadas de calcilutito associadas a margas e folhelhos, cuja análise de raio-gama foi impossibilitada. E, por fim, (H), em que é possível ver um intervalo espesso composto por margas que exibe no perfil de raio-gama padrão variando entre irregular, sino invertido e sino.

Rochas de natureza não sedimentar

Divide-se em dois litotipos, (i) rochas metamórficas não classificadas, com composição formada por quartzo, feldspatos e biotita, e (ii) diabásios, de coloração cinza claro a verde escuro de textura fina. Esses litotipos são relacionados respectivamente a rochas do embasamento cristalino da bacia e eventos magmáticos dispostos ao longo do preenchimento sedimentar.

Análise estratigráfica de poços

Por meio do reconhecimento de ciclos e de tendências deposicionais características, a seção investigada foi subdividida em oito sequências, denominadas S1 a S8, sendo seis relativas à fase drifte transgressiva da bacia, e duas referentes à drifte regressiva. Seus limites foram estabelecidos com base na informação sobre o posicionamento dos topos de unidades cronoestratigráficas, disponível nos dados de poços, e a partir das discordâncias previstas na atual Carta Estratigráfica da Bacia Potiguar (Figuras 2; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

As sequências foram melhor analisadas a partir de suas variações texturais, que permitiram a individualização de ciclos estratigráficos, padrões de empilhamento, superfícies de importância estratigráfica e, por fim, tratos de sistemas deposicionais. No presente trabalho, os mesmos obedecem ao modelo proposto para sistemas de águas profundas de Catuneanu (2020), sendo, portanto, relacionados aos tratos de sistemas de nível baixo, transgressivo, nível alto e de regressão forçada.

O Trato de Sistemas de Nível Baixo inicia-se a partir de uma concordância correlativa que está associada a uma das discordâncias do intervalo estudado, sendo caracterizado por um ou mais ciclos de engrossamento textural para o topo, pertinentes à um padrão de empilhamento progradacional. Essa unidade representa uma fase de regressão normal em que a acomodação é positiva, porém a taxa de aporte sedimentar é mais elevada que a taxa de acomodação, ocasionando a migração dos depósitos em direção à bacia. Nos poços analisados, este trato é

formado pelitos que evoluem para o topo dos ciclos para siltitos e/ou arenitos finos, produzindo padrões de raios-gama em sino invertido. As litofácies areníticas finas e siltíticas estão aqui sendo interpretadas como tendo sido depositados por fluxos de grãos finos e correntes de turbidez de baixa densidade, respectivamente. A ocorrência desse trato de sistemas se dispõe até a Superfície de Regressão Máxima, que por sua vez separa esses depósitos de natureza progradacional daqueles sedimentados durante a subida do nível de base (Figuras 4, 5 e 6).

Em seguida, o Trato de Sistemas Transgressivo é estabelecido, sendo definido a partir de ciclos de afinamento textural para o topo, com sedimentação pelágica dominante, que constituem, em conjunto, um padrão de empilhamento retrogradacional. Nos poços, este trato é representado por arenitos finos, interpretados como turbiditos de baixa densidade, ou ainda por siltitos, cuja ocorrência é atribuída a fluxos decorrentes da instabilidade da borda da plataforma. O conjunto de estratos depositados durante a transgressão marinha é finalizado pela Superfície de Inundação Máxima, por vezes definida através de picos de altos valores registrados no perfil de raio-gama (Figuras 4, 5 e 6).

Após o máximo transgressivo, uma nova regressão normal se estabelece, mas desta vez consoante ao Trato de Sistemas de Nível Alto, definido por uma série de ciclos de engrossamento textural para o topo. Nesta fase, nota-se que as fácies pelíticas se mantêm dominantes, atestando, portanto, a manutenção da sedimentação pelágica, mas, comparativamente com o trato de sistemas transgressivo, anterior, agora a mesma demonstra natureza menos orgânica, já que as eletrofácies reconhecidas evidenciam quedas no grau API dos perfis de raio-gama. Este trato evolui até a Superfície Basal de Regressão Forçada, quando o trato acima homônimo pôde ser individualizado, ou até a concordância correlativa relacionada a uma das discordâncias adotadas para o trabalho (Figuras 4 e 5).

O Trato de Sistemas de Regressão Forçada, quando individualizado, já que o mesmo pode estar ausente por não ter sido depositado nesta região da bacia ou por ter sido removido durante o processo de erosão associado à geração da discordância-limite superior ou sua concordância correlativa, é caracterizado por ciclos de engrossamento textural para o topo. Tais ciclos correspondem a padrões em sino invertido nos perfis de raio-gama e, em conjunto, indicam um padrão de empilhamento progradacional. Litologicamente, este trato pode ocorrer de duas formas, prevalecendo litofácies originadas a partir de fluxos de grãos grossos, tais como os

conglomerados, como vistos no poço 1-BRSA-1175-CES, ou ainda com ocorrência de siltitos intercalados com pelitos provenientes de *mudflows* resultantes da instabilidade da borda da plataforma. Neste último caso, esse material ocorre intercalado com folhelhos, assim como analisado no poço 1 - BRSA-1158-CES (Figuras 4 e 5). O pacote sedimentar citado se encerra nas concordâncias correlativas às discordâncias que limitam superiormente as sequências individualizadas.

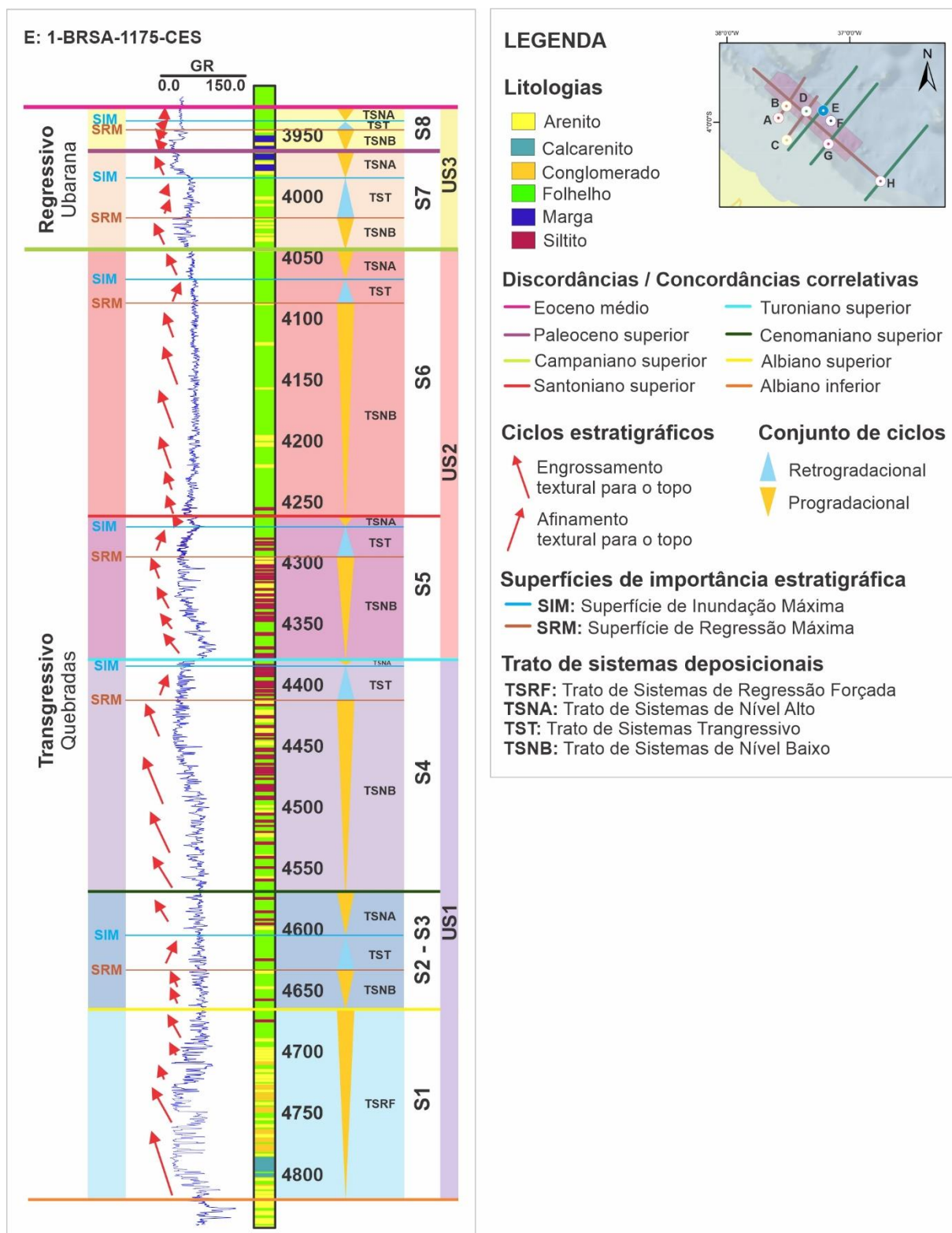


Figura 4: Diagrama 1D do poço 1-BRSA-1175-CES ilustrando as sequências e tratos de sistemas deposicionais identificados no intervalo de estudo.

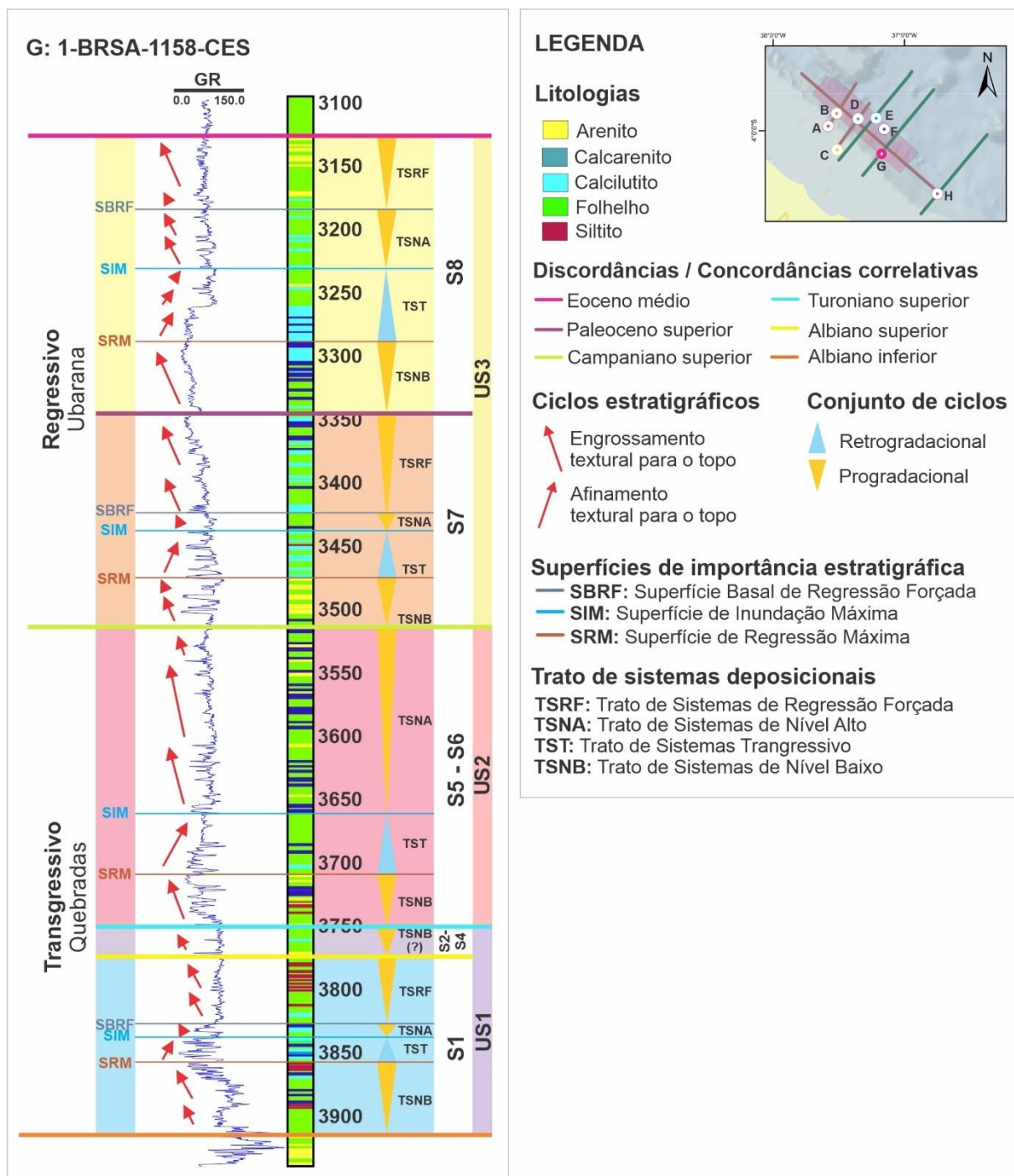


Figura 5: Diagrama 1D do poço 1-BRSA-1158-CES ilustrando as sequências e tratos de sistemas deposicionais identificados no intervalo de estudo. Diferentemente do poço apresentado na Figura 4, neste poço mostrado aqui, a sequência S1 pôde ser reconhecida.

Os tratos de sistemas deposicionais aqui descritos nem sempre possuem mudanças texturais típicas, pois há um expressivo acúmulo de sedimentos pelágicos e hemipelágicos consequentes de uma maior influência marinha devido uma longa distância em relação ao ponto de entrada do aporte sedimentar. Essa situação, é vista com clareza no poço 1-BRSA-1205-RNS (Figura 6).

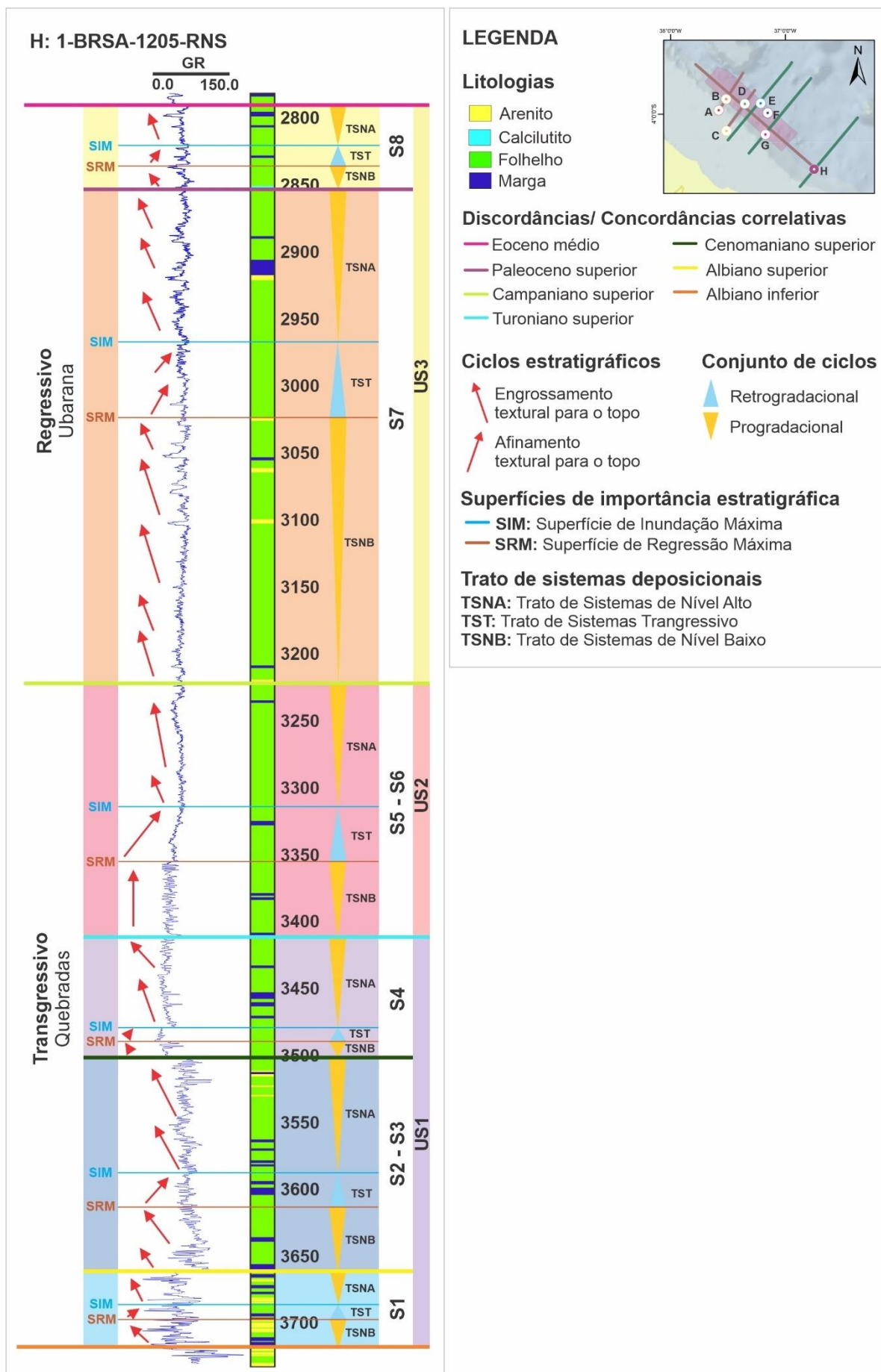


Figura 6: Diagrama 1D do poço 1-BRSA-1205-RNS ilustrando as sequências e tratos de sistemas deposicionais identificados no intervalo de estudo. Neste setor da bacia, observa-se um domínio de sedimentação pelágica, sem mudanças texturais frequentes.

Análise sismoestratigráfica

Na resolução sísmica, as oito sequências definidas quando da análise 1D foram agrupadas em três unidades sismoestratigráficas, isto porque dos nove limites de sequência identificados nos poços, apenas quatro foram reconhecidos nas seções sísmicas. Desta forma, as sequências S1 a S4, seção compreendida entre as concordâncias relativas às discordâncias do Albiano inferior e do Turoniano superior, representam a Unidade Sismoestratigráfica 1 (US1); as sequências S5 e S6, dispostas entre as concordâncias correlativas às discordâncias do Turoniano superior e do Campaniano superior, referem-se à Unidade Sismoestratigráfica 2 (US2), e as sequências S7 e S8, intervalo entre as concordâncias correspondentes às discordâncias do Campaniano superior e do Eoceno médio, estão inseridas na Unidade Sismoestratigráfica 3 (US3). A análise sísmica se deu segundo a caracterização dos horizontes que limitam cada uma das unidades e as respectivas sismofácies que as formam (Figura 7).

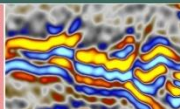
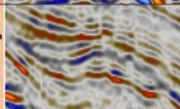
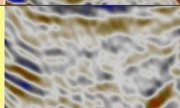
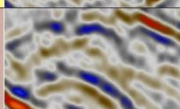
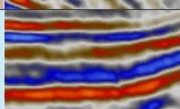
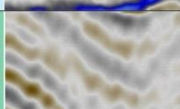
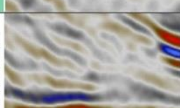
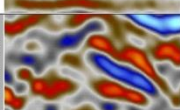
SISMOFÁCIES		CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS	PROCESSOS ENVOLVIDOS E ASSOCIAÇÃO LITOLÓGICA
0 500 1000 m			
Vermelha		Sismofácies com arranjo de refletores subparalelos a segmentados, contínuos a localmente descontínuos devido a ação de falhas, com alta amplitude, alta frequência e geometria em vales e diques ou de preenchimento de canais.	Associada à processos gravitacionais que foram responsáveis pela sedimentação de litotipos areníticos grossos intercalados com pelitos, arenitos finos ou rochas carbonáticas.
Laranja		No geral, sismofácies caracterizada através de sua ocorrência em mounds, com refletores internos subparalelos, levemente contínuos, com baixa a moderada amplitude e baixa frequência.	Referente a processos gravitacionais, podendo apresentar predomínio de litofácies areníticas finas intercaladas com pelito.
Amarela		Sismofácies com refletores de configuração paralela a subparalela, descontínuos, de moderada amplitude, frequência média a baixa e geometria externa em banco associada localmente a uma feição de preenchimento.	Equivalência a processos trativos associados a litofácies areníticas e carbonáticas que compõem a porção superior da Formação Açú.
Marrom		Na plataforma, apresenta refletores com configuração progradante oblíqua, levemente contínuos, com baixa amplitude, baixa frequência e geometria externa em cunha; em região de talude esses refletores ocorrem em montiforme.	Predomínio de processos gravitacionais relacionados a depósitos de natureza mais fina, conforme o dado de poço, ou ainda de maneira subordinada, processos trativos influenciados por setores mais proximais.
Azul		A sismofácies é definida como paralela a subparalela, de excelente continuidade, alta a média amplitude, alta a média frequência e geometria externa em banco que pode se dispor em dois patamares da borda da plataforma.	Corresponde a processos trativos, ou de maneira subordinada bioconstruções carbonáticas, que nos poços coincidem com litofácies carbonáticas a pelíticas relativas à Formação Ponta do Mel ou Formação Guimarães.
Verde		Sismofácies com refletores paralelos a subparalelos, que se mostram ondulados devido a grande incidência de falhamentos, de média a baixa amplitude, média frequência e geometria externa de preenchimento de talude.	Sedimentação controlada por processos associados à decantação, cuja associação com os poços coincide com litotipos predominantemente pelíticos eventualmente intercalados com arenitos finos.
Branca		Sismofácies de configuração progradante oblíqua, com refletores contínuos, de baixíssima amplitude, baixa frequência e geometria externa em cunha.	Os processos envolvidos são predominantemente trativos ou em menor proporção gravitacional, com associação litológica inferida relacionada a pelitos da Formação Açú de idade cenomaniana.
Cinza		A sismofácies possui refletores com configuração caótica a contorcida, localmente progradante oblíqua, descontínuos, de média amplitude, média a baixa frequência e geometria externa em cunhas escalonadas ou em montiforme.	No poço, essa sismofácies coincide com arenitos de granulometria grossa referentes a processos gravitacionais.

Figura 7: Quadro-síntese apresentando as características descritivas e a interpretação e associação litológica das sismofácies reconhecidas nos dados sísmicos estudados.

Unidade Sismoestratigráfica 1 – US1

O intervalo sísmico relativo à essa unidade limita-se abaixo pela concordância correlativa do Albiano inferior, que por sua vez demarca o início da fase de deriva da Bacia Potiguar, conforme Pessoa Neto *et al.* (2007). Esse horizonte pode ser reconhecido na sísmica como um refletor de média amplitude, boa continuidade lateral, com truncamentos erosivos, abaixo, e *onlaps* e *downlaps* acima do mesmo (Figuras 8 a 10).

Em porções proximais, observa-se, na porção inferior da US1, a sismofácies amarela, caracterizada a partir de refletores com configuração paralela a subparalela, descontínuos, por vezes contínuos, de média amplitude, média a baixa frequência, e geometria em banco associada, localmente, à uma geometria de preenchimento, cuja a interseção com o poço é relativa à intercalação de rochas siliciclásticas e carbonáticas provenientes de processos trativos em regiões de borda de plataforma durante períodos de regressão normal. O limite superior dessa sismofácies é

interpretado na sismica como uma superfície de by-pass relacionada à Discordância do Albiano superior devido a ocorrência de *toplaps*.

Sobre ela, ainda nas porções referentes à borda da plataforma, se situa a sismofácies azul, descrita como um conjunto de refletores paralelos a subparalelos, de excelente continuidade, alta amplitude, alta a moderada frequência e geometria em banco, com formação relacionada a processos trativos ou ainda bioconstruções, cujos dados de poços coincidem com rochas carbonáticas e, subordinadamente, pelíticas da Formação Ponta do Mel durante períodos de transgressão e/ou regressão normal. Essas fases foram reconhecidas a partir da mudança de amplitude da sismofácies e da correlação com os tratos de sistemas deposicionais definidos no poço 1-CES-10-CE. Tal sismofácies pode corresponder à Sequência S2 (Figuras 8 e 9).

Em seguida, nas porções proximais, tem-se a sismofácies branca, atribuída à refletores com configuração progradante oblíqua, de natureza contínua, baixíssima amplitude, baixa frequência e geometria em cunha, atribuída a processos principalmente trativos, uma vez que se situa próxima ao limite da plataforma. A associação litológica é inferida, devido a inexistência de poços que perfurem tal sismofácies, de maneira que esse conjunto de refletores progradantes dispostos em *downlap* sobre o intervalo inferior foi atribuído aos depósitos siliciclásticos marinhos da porção superior da Formação Açú, de idade cenomaniana, ou a transição destes para os da Formação Quebradas. Esse cenário evolui até a Discordância do Campaniano superior, isto porque o processo erosivo relacionado a esse horizonte foi de tal magnitude que consumiu toda seção entre essa discordância e a discordância abaixo, a do Turoniano superior, não a preservando em águas plataformais, só sendo distinguida em águas profundas (Figuras 8).

Essa região ainda apresenta a sismofácies laranja, definida como *mounds* com refletores internos subparalelos, descontínuos, com baixa a moderada amplitude e baixa frequência, referentes a litofácies de granulometria mais fina, tais como arenitos finos a médios e pelitos depositados a partir de correntes de turbidez de baixa densidade, cuja ocorrência é relacionada a regressões normais, transgressões ou regressões forçadas (Figura 9).

Por vezes, em interdigitação com a sismofácies laranja, observa-se a sismofácies verde, definida a partir de refletores paralelos a subparalelos, dispostos de forma ondulada devido a ação de falhas, com média a baixa amplitude, média frequência e geometria de preenchimento de talude, cuja a associação litológica

compreende predominantemente rochas pelíticas ou ainda lama carbonática com deposição relacionada a processos de decantação. Tal sismofácies pode ser atribuída a transgressões ou regressões normais (Figuras 9, 10 e 12).

Na porção mais distal, a US1 apresenta predominantemente a sismofácies vermelha, que se dispõe com refletores de arranjo subparalelos a segmentados, contínuos a localmente descontínuos (quando intensamente afetado por falhamentos), com alta amplitude, alta frequência e geometria em vales e diques, cujos processos envolvidos são predominantemente gravitacionais gerados por correntes de turbidez de alta densidade ou fluxos de grãos grossos (Figuras 9 e 12). Essa interpretação se dá também seguindo a Sequência S1 presente no poço 1-BRSA-1175-CES (Figura 4), em que litofácies de granulometria grossa, em contraste com material mais fino acarretam anomalias de amplitude facilmente reconhecidas.

Unidade Sismoestratigráfica 2 – US2

A Unidade Sismoestratigráfica 2 engloba o intervalo entre a concordância correlativa do Turoniano superior, identificada como um refletor de boa continuidade lateral e alta amplitude, que pode se dispor com terminações em truncamentos erosivos e em *downlap*, ou concordante com os refletores acima e/ou abaixo, ou somada à concordância correlativa do Campaniano superior, cujas características sísmicas serão descritas na US3 (Figuras 9, 10 e 12).

Em porções proximais, essa unidade não é preservada devido ao evento erosivo relacionado ao desenvolvimento da Discordância do Campaniano superior. Contudo, na região de talude observa-se o predomínio da sismofácies verde, que nos poços são associados a rochas pelíticas e/ou calcilutitos, cuja a deposição apresentou maior influência de processos relacionados à decantação (Figuras 9 e 12).

Internamente à sismofácies anterior, observa-se também a presença de lentes relacionadas à sismofácies laranja, referente à depósitos gerados por fluxos de gravidade ocasionados por correntes de turbidez de baixa densidade, em que se infere uma menor proporção areia/lama, manifestada com menor amplitude e menor continuidade dos refletores interiores aos *mounds* (Figuras 9, 10 e 12).

Unidade Sismoestratigráfica 3 – US3

O limite inferior dessa unidade é a concordância correlativa do Campaniano superior, cuja ocorrência nas seções analisadas é definida por um refletor levemente descontínuo, de baixa a média amplitude e com terminações em *downlap* e *onlap*,

sobre sua superfície, e truncamento erosivo abaixo (Figuras 8 e 9). Esse horizonte representa uma mudança na evolução estratigráfica da bacia, pois marca o início do drifte regressivo do setor (Pessoa Neto *et al.*, 2007).

Em regiões proximais, a unidade é iniciada com a sismofácies marrom, definida como refletores com configuração predominantemente progradante oblíqua, com terminações em *downlap* com o limite inferior e *toplap*/truncamento erosional no limite superior; apresenta uma leve continuidade, baixa amplitude e geometria externa em cunha ou ainda em montiforma, no setor de talude. Sua associação com o poço permite a correlação da sismofácies com siltitos, cujos processos envolvidos na deposição são referentes a processos trativos influenciados pela plataforma ou, principalmente, gravitacionais, gerados por fluxos de grãos finos ou escorregamentos de massa desencadeados durante um período de regressão normal da Sequência S7 (Figura 8).

Sobre ela, a sismofácies azul volta a ocorrer, mas desta vez apresentando geometria em *mounds*, que podem estar relacionados a uma bioconstrução ou ainda a barras de areias carbonáticas relativas aos litotipos da Formação Guamaré. Essa estrutura possui seu topo aplainado, devido a ação erosiva atribuída à Discordância do Eoceno médio (Figura 8).

No talude superior se dispõe a sismofácies cinza, caracterizada através de um arranjo de refletores progradacionais oblíquos, de natureza descontínua, baixa a média amplitude, média frequência e geometria em cunhas escalonadas, típicas de uma regressão forçada. Sua evolução é relacionada principalmente à processos gravitacionais (Figuras 8 e 9).

Em regiões marinhas distais, a US3 apresenta a sismofácies laranja que se dispõe em montiformas aplainadas, preenchendo vales ou ainda de maneira mais contínua, sendo lateralmente associada à sismofácies verde, consequentes de processos por decantação. Na porção superior da unidade, próximo ao poço 1-BRSA-69A-CES, é identificada a sismofácies cinza, com refletores contorcidos, descontínuos, de média amplitude, média frequência, geometria em montiforma, e associação litológica referente a arenitos grossos consequentes de processos gravitacionais acarretados por fluxos de grãos grossos e escorregamentos (*slumps*) originados durante uma regressão forçada. Essa sismofácies compreende a Sequência S8 como um todo (Figura 12).

A unidade se encerra na Discordância do Eoceno médio, reconhecida como um refletor contínuo de média a alta amplitude com terminações em *downlap* e *onlap* sobre ela, e truncamentos erosivos, abaixo da mesma, que por vezes é somada à concordância correlativa do Oligoceno superior (Figuras 9 e 10).

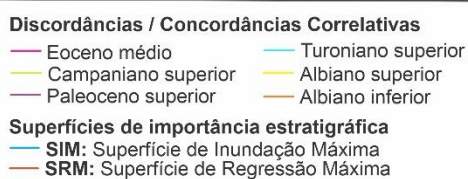
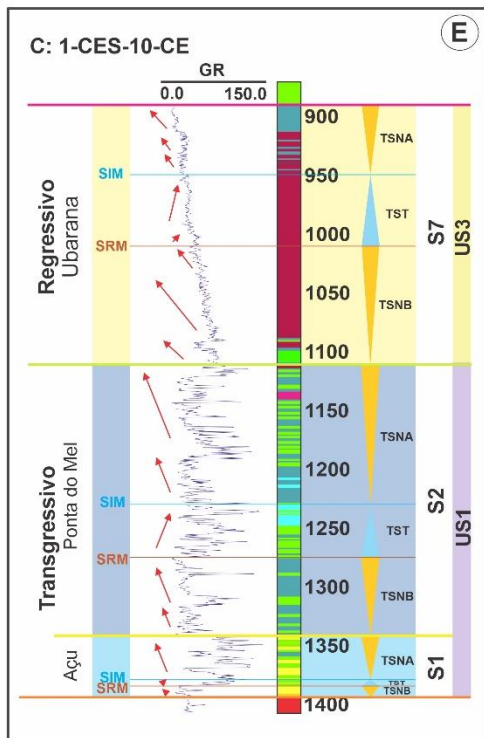
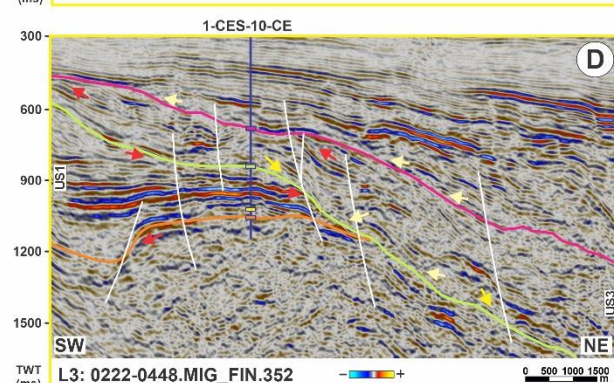
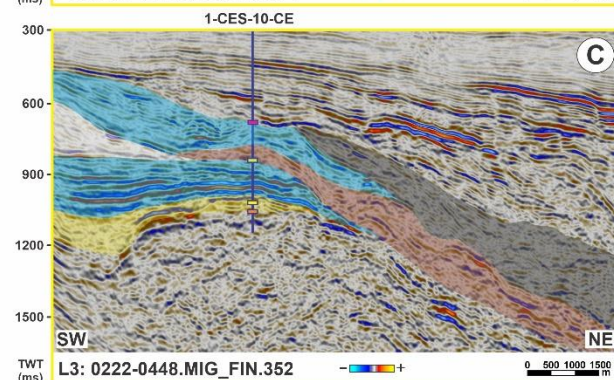
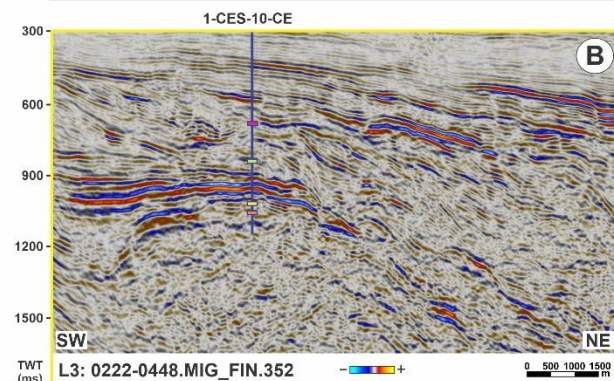
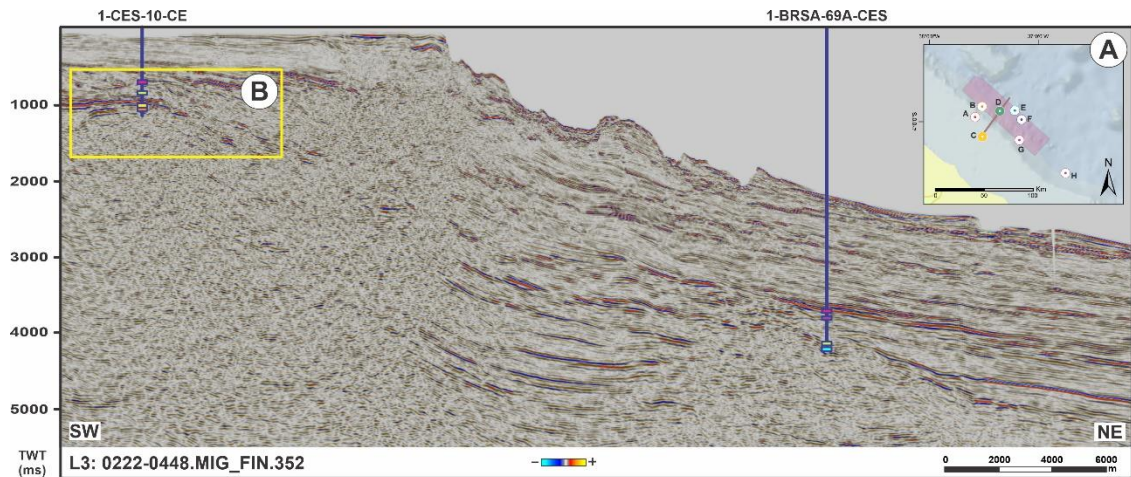


Figura 8: Em (A) Seção sísmica L3 extraída do Levantamento Sísmico 2D R0003_GRAND_NORTH. Em (B) há destaque para o intervalo analisado na porção plataformal, com as sismofácies reconhecidas em (C) e superfícies de importância estratigráfica na imagem (D). Em (E) o poço 1-CES-10-CE atravessado pela seção, demonstrando a US1, iniciada pelos depósitos da Formação Açu, seguidos pelas rochas carbonáticas da Formação Ponta do Mel e, por fim, a US3 com predomínio de rochas pelíticas. As imagens geradas têm exagero vertical de 8x.

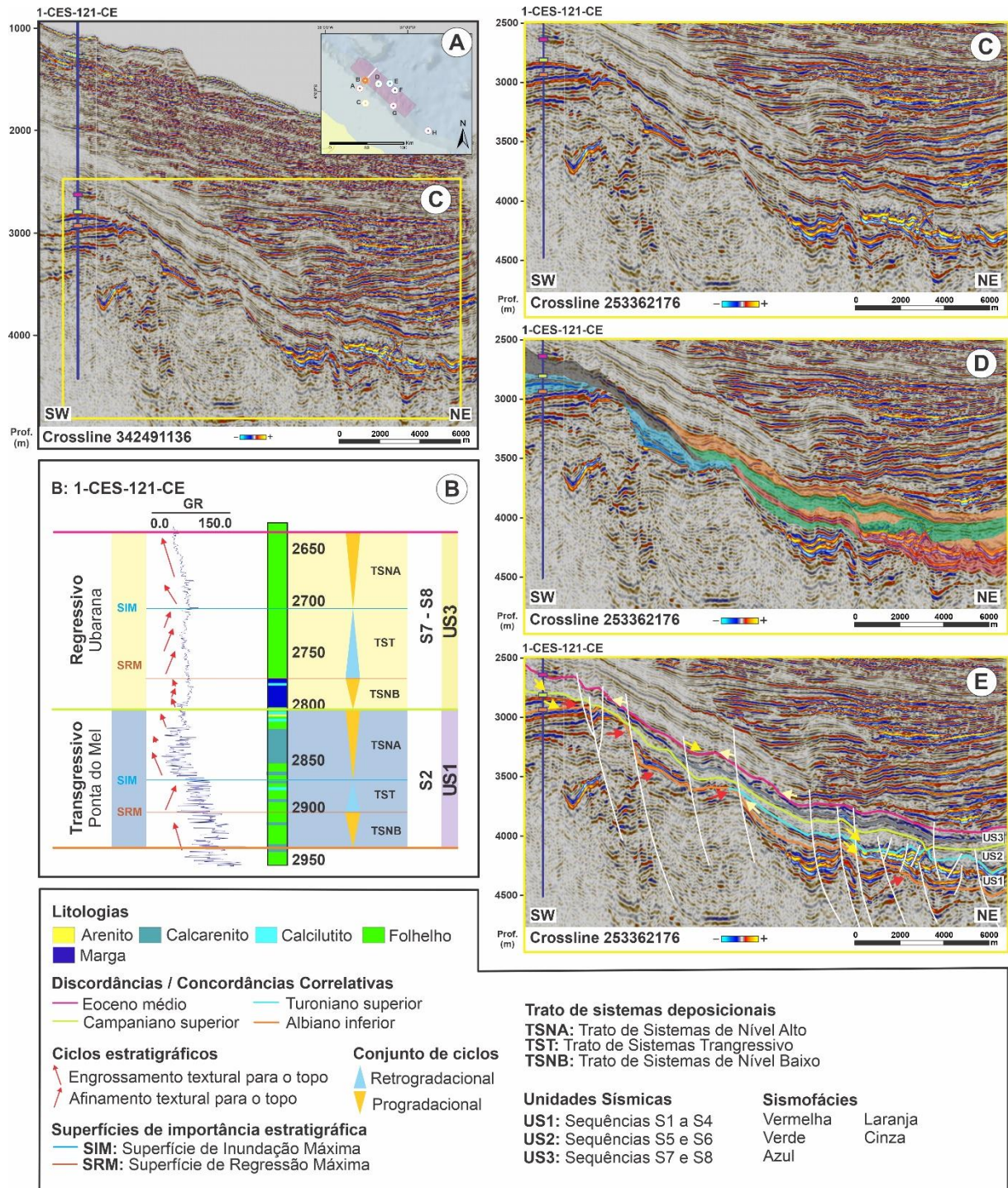


Figura 9: Em (A) seção sísmica 253362176 extraída do volume 3D. Em (B) o poço 1-CES-121-CE interceptado pela seção, contendo rochas carbonáticas pertencente à

Formação Ponta do Mel na porção correspondente à US1, tal como o predomínio de rochas pelíticas da Formação Ubarana na US3. Em (C) há destaque para o intervalo analisado, com as sismofácies reconhecidas em (D) e superfícies de importância estratigráfica em (E).

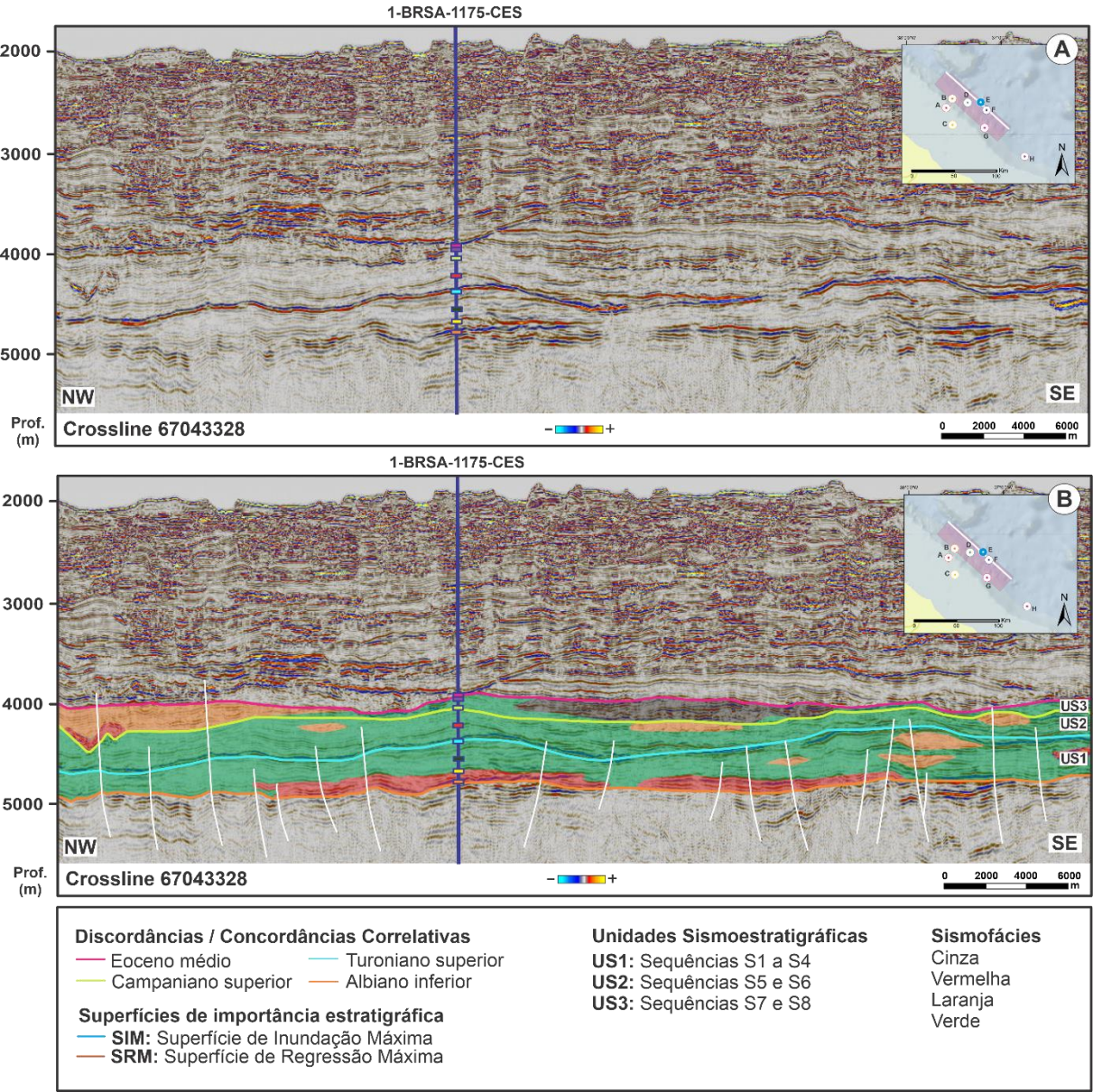


Figura 10: Em (A) seção sísmica 67043328 extraída do 3D. Em (B) a interpretação do dado através de sismofácies já associadas aos horizontes sísmicos delimitados a partir de terminações de refletor e demais características sísmicas, respectivamente. As figuras geradas utilizaram exagero vertical de 5x.

DISCUSSÕES

A integração dos resultados provenientes da análise 1D com aqueles advindos das interpretações sismoestratigráficas foi realizada à luz do Modelo de Arquitetura Aninhada (*Nested Architecture*; *sensu* Catuenanu (2019), onde sequências de ordem

menor abarcam internamente sequências de mais alta frequência, ou de ordem maior. Assim, as unidades sismoestratigráficas US1, US2, US3 foram concebidas como sequências compostas, internamente formadas por sequências de mais alta frequência (S1 a S8). Consequentemente, as análises realizadas se dispuseram em duas escalas distintas: a primeira atribuída a aspectos geofísicos e sedimentológicos, observados na escala de poço, e a segunda, operando em escala de bacia, derivada da análise das sismoefeições, expressas pelas terminações dos refletores, sismofácies e geometria externa. As sequências S1 à S8, de mais alta frequência, foram compartimentadas em tratos de sistemas deposicionais, levando-se em consideração os típicos padrões de empilhamento, ilustrados pelas sucessões verticais das litofácies, bem como pelos diferentes padrões dos perfis de raio-gama. Por sua vez, as sismofácies presentes e as informações acerca dos processos deposicionais abstraídas das mesmas permitiram associar intervalos internos às sequências compostas US1, US2 e US3 a conjuntos de sistemas deposicionais, aqui denominados de tratos de sistemas sísmicos (Figura 11).

As unidades sismoestratigráficas representam seções cronoestratigráficas que possuem idades variando entre doze e trinta milhões de anos, conforme a atual Carta Estratigráfica da Bacia Potiguar elaborada por Pessoa Neto *et al.* (2007). Este range de duração as coloca em uma ordem de grandeza de 10^7 na escala temporal de Catuneanu (2019a, 2019b), que as classifica como sequências de primeira ou segunda ordem. Contudo, a Bacia Potiguar é considerada multifásica, logo a fase tectônica drifte pode ser considerada uma megassequência (de primeira ordem), ao passo que suas divisões, seriam relativas à segunda ordem (Figura 11).

Internamente às unidades, as sequências de mais alta frequência reconhecidas possuem um range temporal de 3 a 18Ma, com ordem de grandeza entre 10^6 e 10^7 , que por sua vez as caracterizariam como sequências de primeira, segunda ou terceira ordem (Catuneanu 2019b). No entanto, por estarem inclusas nas unidades sismoestratigráficas, e por serem individualizadas a nível de perfis geofísicos de poço foram apontadas como de terceira ordem (Figura 11).

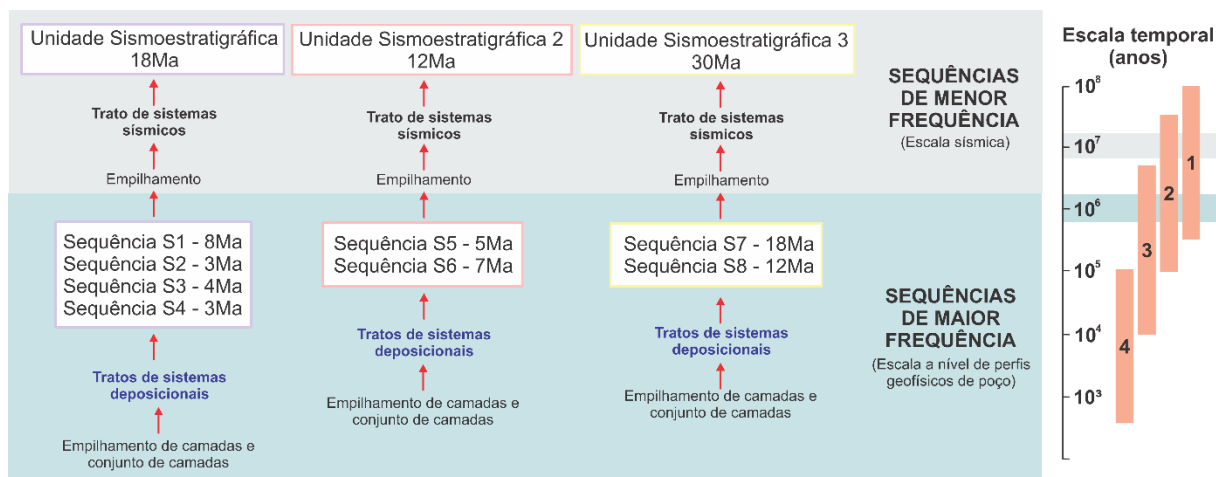


Figura 11: Quadro-resumo especificando as escalas utilizadas, a natureza composta das unidades sismoestratigráficas identificadas e as ordens de grandeza das sequências (Adaptado de Catuneneau, 2019b).

Considerando o que foi aventado e o modelo de deposição para sistemas marinhos profundos de Catuneneau (2020) é possível discutir a história evolutiva do intervalo estudado, de forma que, quando possível, foi realizada uma integração entre os tipos de depósitos, processos, fases e tratamentos de sistemas de hierarquias divergentes.

O início da fase drifte é representado pela Discordância do Albiano inferior, que demarca o momento em que os oceanos Atlântico Equatorial e Atlântico Sul se integraram durante o total rompimento entre as massas continentais de Gondwana (Chang *et al.*, 1992; Pessoa Neto *et al.*, 2003). Sobre ela, depositou-se a Unidade Sismoestratigráfica 1, representada pelas sequências de mais alta frequência S1 a S4. Sua evolução se deu nos primeiros estágios da lenta subida do nível do mar, quando o aporte sedimentar excedia a taxa de acomodação. Na porção proximal deste cenário, desenvolveu-se um importante sistema aluvio-fluvial, responsável pela deposição dos litótipos da Formação Açu. Em momentos de queda eustática mais acentuada do nível do mar, sedimentos terrígenos grossos conseguiam alcançar porções mais distais da bacia, sendo carregados por meio de processos trativos na plataforma e por fluxos gravitacionais nos taludes e bacias, dando origem a fácies conglomeráticas; tais estratos foram relacionados ao Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Forçada (sismofácies vermelha). O momento subsequente, onde as fácies predominantes passam a arenitos finos (sismofácies amarela) foi atribuída ao Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Normal de Nível Baixo. *A posteriori*, o nível do mar continuou a subir, de forma que a taxa de acomodação excedeu a de aporte

sedimentar e uma expressiva diminuição de sedimentação siliciclástica ocorreu ao mesmo tempo em que se implantou uma plataforma carbonática com borda, atribuída à Formação Ponta do Mel, tal qual descrita por Medeiros & Córdoba (2020; Figuras 8 e 9). Esse intervalo, foi associado na sísmica aos tratos de sistemas sísmicos transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto, que compreendem a sismofácies azul.

A ocorrência dessa fácies sísmica se dispõe também em níveis distintos da borda da plataforma, isto devido ao evento erosivo ocasionado pela Discordância do Campaniano superior e pela intensa ação de falhas que, por sua vez, permitiram a evolução de depósitos carbonáticos em patamares dissemelhantes (Figura 9).

Sobre essa plataforma carbonática do primeiro nível, e representando o pulso final da fase de subida do nível do mar, observa-se um intervalo sísmico com progradações, provavelmente relacionado aos depósitos siliciclásticos da Formação Açú de idade cenomaniana, consequentes de um aporte sedimentar excedente à acomodação positiva gerada pela regressão normal da linha de costa, os quais foram também atribuídos à fase final do Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Normal de Nível Alto.

Com a diminuição de terrígenos chegando à bacia, a porção distal possui predomínio de sedimentação pelágica a hemipelágica, referente aos tratos de sistemas sísmicos Transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto, cujos depósitos subordinados são referentes aos turbiditos de baixa densidade, representados pela sismofácies laranja (Figura 12).

Em seguida, o nível de base passou por uma nova queda, favorecendo a materialização da concordância correlativa do Turoniano superior e marcando o início da Unidade Sismoestratigráfica 2, ou seja, das sequências de mais alta frequência S5 e S6. Nesse intervalo, foi observado na região distal dois comportamentos a depender da proximidade do ponto de entrada de sedimentos. O primeiro equivalente à uma baixa chegada de sedimentos às porções distais e estabelecimento dos tratos de sistemas sísmicos Transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto (Figuras 10 e 12), em que os poços registraram dominância de sedimentos pelíticos. O segundo, por sua vez, referente à uma série de canais associados à um sistema de leque submarinos responsáveis pela deposição de turbiditos de alta densidade, atribuídos ao Trato de Sistema Sísmico de Regressão Forçada (Figura 9). Essa unidade não possui registros nas porções proximais, pois com a elevação da plataforma gerada

por processos pós-distensionais e uma nova queda do nível de base durante o Neocampaniano ela foi erodida (Morais Neto, 1999; Moraes Neto *et al.*, 2009; Cremonini, 1996; Pessoa Neto *et al.*, 2007).

Após a ação erosiva referente à Discordância do Campaniano superior, a fase drifte regressiva da Bacia Potiguar se instituiu e com ela teve início a Sequência S7 da Unidade Sismoestratigráfica 3, a partir dos primeiros estágios de subida de nível de base, responsável pela deposição do Trato de Sistemas Sísmicos de Regressão Normal de Nível Baixo representado pela sismofácies marrom na borda da plataforma (Figura 8).

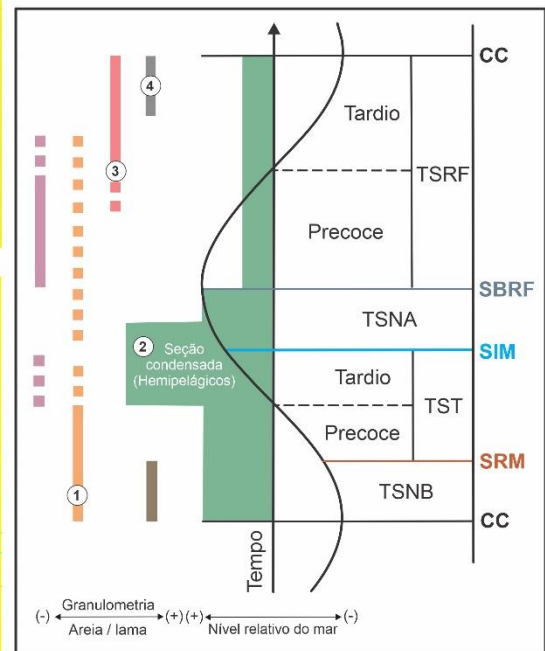
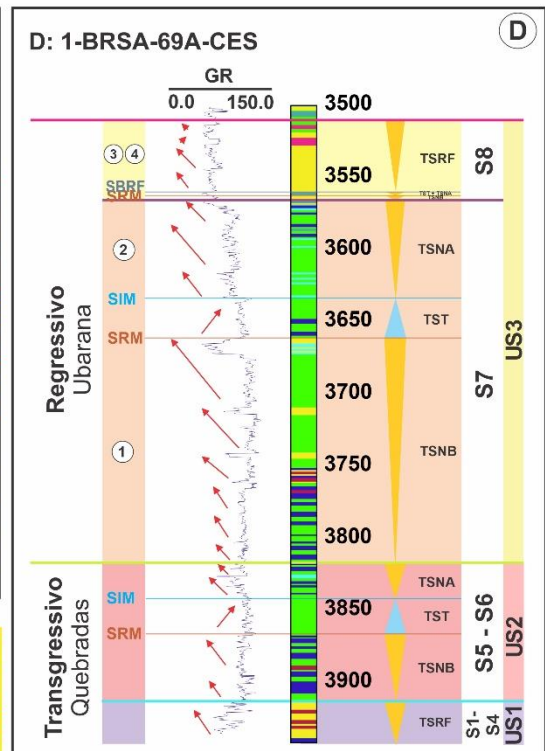
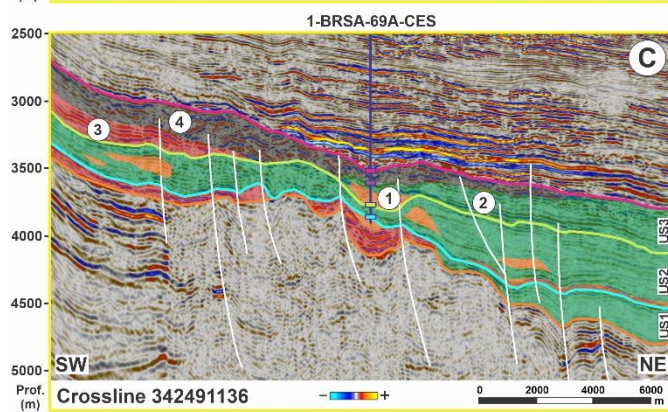
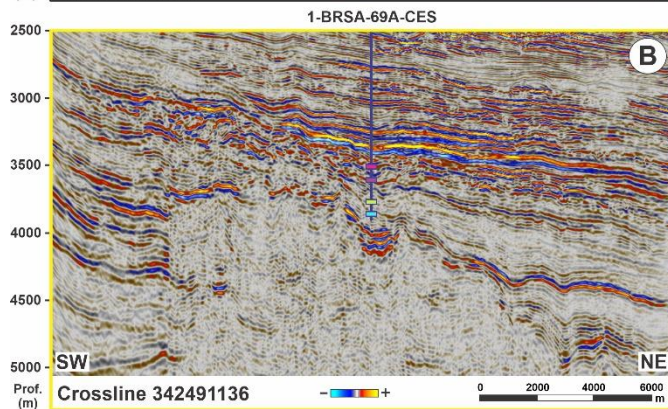
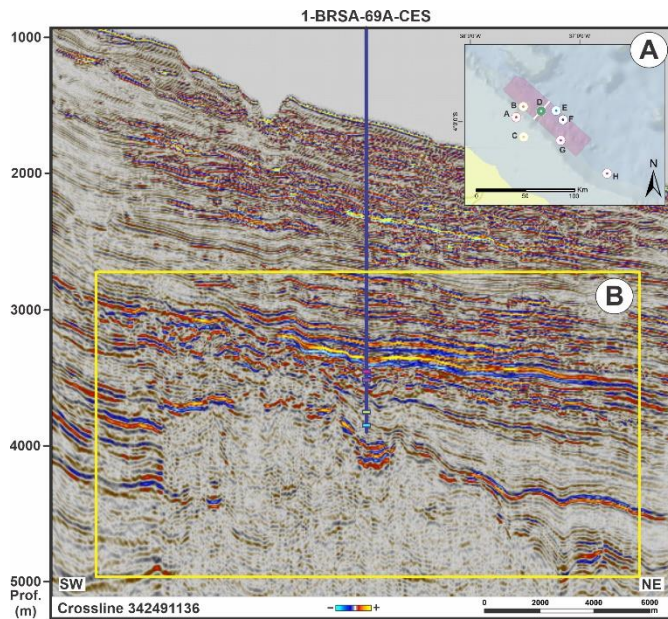
Nesse período, observou-se uma menor entrega de sedimentos terrígenos para as porções distais, tal como uma diminuição na proporção areia/lama na plataforma, de modo que os fluxos gravitacionais que adentravam a bacia seriam aqueles gerados por fluxos de grãos finos ou correntes de turbidez de baixa densidade, caracterizados por apresentarem maior eficiência no transporte de areias finos; tais depósitos areníticos são relativos à sismofácies laranja (Figura 8).

Em seguida, o nível de base continuou a subir favorecendo a sedimentação carbonática da Formação Guamaré na porção proximal e durante estágios referentes aos tratos de sistemas sísmicos Transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto (Figura 8).

No final da Unidade Sismoestratigráfica 3, durante o intervalo de tempo correlato à sequência S8, a borda da plataforma passou por uma instabilidade causada pela rápida queda do nível de base. Esse cenário, em junção com a chegada de uma maior quantidade de terrígenos no setor, favoreceu a deposição de sedimentos de granulação grossa na porção distal, permitindo escorregamentos de massa relacionados à sismofácies cinza (Figura 12), descrita sismicamente como o Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Forçada. Tal fase, evoluiu até o evento erosivo que originou a Discordância do Eoceno médio, limite superior do intervalo estudado. A magnitude deste evento não permitiu a preservação desta unidade em setores mais proximais da plataforma.

No tocante ao potencial petrolífero, cita-se principalmente os depósitos turbidíticos do Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Forçada, que coincidem nos poços com pacotes sedimentares de maior proporção arenito/folhelho, em que prevalecem litotipos de granulometria grossa que, por sua vez, os definem como boas rochas reservatório (Bouma, 2000; Cunha *et al.*, 2021). Na sísmica, esses potenciais

reservatórios são vistos entre as concordâncias correlativas do Albiano inferior e do Albiano Superior (Figura 10), ou ainda nas acumulações dos canais próximos a concordância correlativa do Turoniano superior (Figura 9). Subordinadamente, os turbiditos de baixa densidade de ocorrência ao longo das sequências também apresentam destaque (Figuras 9, 10 e 12), mas de forma menos relevante em virtude da menor proporção arenito/folhelho.



Litologias

Arenito Calcarenito Calcilito Folhelho
Marga Vulcanismo Siltito

Depósitos

Fluxo de grãos grossos Mudflows e slumps
Turbiditos de alta densidade Fluxo de grãos finos
Turbiditos de baixa densidade

Discordâncias / Concordâncias Correlativas

Eoceno médio Paleoceno superior
Campaniano superior Turoniano superior

Superfícies de importância estratigráfica

SBRF: Superfície Basal de Regressão Forçada
SIM: Superfície de Inundação Máxima
SRM: Superfície de Regressão Máxima

Ciclos estratigráficos

Engrossamento textural para o topo
Afinamento textural para o topo

Conjunto de ciclos

Retrogradacional
Progradacional

Trato de sistemas deposicionais

TSRF: Trato de Sistemas de Regressão Forçada

TSNA: Trato de Sistemas de Nível Alto

TST: Trato de Sistemas Transgressivo

TSNB: Trato de Sistemas de Nível Baixo

Unidades Sismoestratigráficas

US1: Sequências S1 a S4

US2: Sequências S5 e S6

US3: Sequências S7 e S8

Sismofácies

Cinza
Verde
Laranja
Vermelho

Figura 12: Em (A) seção sísmica 342491136 extraída do volume 3D. Em (B) há destaque para o intervalo analisado, com as sismofácies reconhecidas em (C). Em (D) o poço 1-BRSA-69A-CES interceptado pela seção, contendo rochas pertencentes a Formação Quebradas na porção correspondente às unidades sismoestratigráfica 1 e 2 e os litotipos da Formação Ubarana no setor atribuído a Unidade Sismoestratigráfica 3. Em (E) o modelo aplicado de Catuneanu (2020), que por sua vez faz relação entre o tipo de depósito esperado, o que foi visto em poço e sua manifestação na sísmica. De maneira que em (1) temos o chamado Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Normal de Nível Baixo, em (2) uma junção dos tratos de sistemas sísmicos Transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto, e em (3) e (4) Trato de Sistemas Sísmico de Regressão Forçada, diferenciados apenas pela ocorrência de tipos distintos de sismofácies, interpretadas respectivamente como turbiditos de alta densidade e fluxo de grãos grossos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intervalo compreendido entre as discordâncias/concordâncias correlativas do Albiano inferior e do Eoceno médio foi analisado e correlacionado a três sequências compostas denominadas de unidades sismoestratigráficas 1, 2 e 3. Cada uma delas é formada por sequências de mais alta frequência, de maneira que a Unidade Sismoestratigráfica 1 compreende as sequências S1 a S4; a Unidade Sismoestratigráfica 2, as sequências S5 e S6, e a Unidade Sismoestratigráfica 3, as sequências S7 e S8.

As unidades sismoestratigráficas 1 e 2 são relacionadas ao estágio drifte transgressivo da bacia e foram depositadas sob a influência de uma profícua sedimentação fluvial, associada em parte a implantação de uma plataforma carbonática neoalbiana, que evoluiu, posteriormente, para uma rampa carbonática de idade turoniana-campaniana, nas porções proximais. Os depósitos gerados são relacionados aos tratos de sistemas sísmicos de Regressão Normal de Nível Baixo, Transgressivo e de Regressão Normal de Nível Alto.

Os principais fluxos gravitacionais registrados em águas profundas correspondem a períodos de queda relativa do nível de base em que, independentemente da taxa de aporte sedimentar, é responsável por uma acomodação negativa, o que dá origem aos tratos de sistemas sísmicos de Regressão Forçada. É durante a deposição deste trato e nestas condições de exposição da plataforma e mudança do depocentro da bacia que se dá a deposição de pacotes

sedimentares associados a turbiditos de alta densidade, apontados como litotipos de bom potencial petrolífero.

A posteriori, no período de mudança do estágio drifte transgressivo para o drifte regressivo, ocorreu um expressivo evento erosivo referente à Discordância do Campaniano superior, cuja dimensão não permitiu a preservação da Unidade Sismoestratigráfica 2 em porções proximais.

Sobre esse horizonte a Unidade Sismoestratigráfica 3 foi formada, apresentando progradações de material lamoso na borda da plataforma e fluxos de grãos finos no talude superior que, por sua vez, em águas distais são cronocorrelatos a depósitos predominantemente pelágicos e hemipelágicos, com montiformas aplainadas de arenitos turbidíticos de baixa densidade associadas. Contudo, o cenário mudou a partir do Neopaleoceno, pois houve uma nova queda do nível de base que favoreceu uma acomodação negativa concomitante a uma expressiva chegada de terrígenos à borda da plataforma que, conseqüentemente, resultou em uma instabilidade, responsável pelo desenvolvimento de escorregamentos de massa. Por fim, a unidade passou por um novo evento erosivo relacionado à Discordância do Eoceno médio que limita superiormente o intervalo de estudo.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelos dados sísmicos e de poços concedidos para a pesquisa, à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), ao Departamento de Geologia (DGEO), ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) e ao Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo I (LGGP I) pela infraestrutura e suporte logístico ao longo do trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa ofertada à primeira autora. E por fim, aos doutores Liliane Rabelo Cruz e Pedro Xavier Neto pelas contribuições acadêmicas para o presente documento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarenga, R. S. (2016). *Análise Sismoestratigráfica de Bacias Rifte: Definição de Sismofácies e Arcabouço Tectono-Estratigráfico*. Tese (Doutorado). Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências – UFRGS.

Araripe, P. T., Feijó, F. J. (1994). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1), 127-141.

Bertani, R. T., Costa, I. G., Matos, R. M. D. (1990). Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e o habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: G. P. R Gabaglia, E. J. Milani (Eds.) *Origem e evolução de Bacias Sedimentares*, 291-310. Rio de Janeiro: Petrobras.

Bouma, A. H., (2000). Coarse-grained and fine-grained turbidite systems as end member models: applicability and dangers. *Marine Petroleum Geology*, 17, 137–143.

Brito, L. H. (2020). *Análise estratigráfica das seções Rifte e Pós-rifte offshore na região do Campo de Pescada, Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira*. Dissertação (Mestrado). Natal: Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra – UFRN.

Bulhões, E. M., Amorim, W. N. (2005). Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (tecVA). IX International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 1382-1387. Salvador: European Association of Geoscientists e Engineers.

Catuneanu O. (2020). Sequence stratigraphy of deep-water systems. *Marine and Petroleum Geology*, 114, 104238.

Catuneanu O. (2019a). Model-independent sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 188, 312-388

Catuneanu O. (2019b). Scale in sequence stratigraphy. *Marine and Petroleum Geology*, 106, 128-159.

Catuneanu O. (2006). *Principles of sequence stratigraphy*. Amsterdam, Elsevier.

Chang, H. K., Kowsmann, R. O., Figueiredo, A. M. F, Bender, A. A. (1992). Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift System: an overview. *Tectonophysics*, 213,97-138.

Córdoba C.C. (2001). *Evolução da Plataforma Carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar: Análise Paleoambiental, Diagenética e Estratigráfica*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

Cremonini, O. A., Goulart, J. P. M., Soares, U. M. (1996). O Rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. IV Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 89-93. Rio Claro: Boletim do Rio Claro.

Cunha, J. A. O., Córdoba, V. C., Soares, U. M., Sousa, D. C, Vital, H. (2021). Evolution of shallow and deep-water deposits included in the regressive drift succession of the

Potiguar Basin (Brazilian Equatorial Margin) during the Late Cretaceous to Holocene. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103420.

De Gasperi A., Catuneanu O. (2014) Sequence stratigraphy of the Eocene turbidite reservoirs in Albacora field, Campos Basin, offshore Brazil. *AAPG Bulletin*, 98(2), 279-313.

Dickson, W. G., Fryklund, R. E., Odegard, M. E., Green, C. M. (2003a). Constraints for plate reconstruction using gravity data – implications for source and reservoir distribution in Brazilian and West African margin basins. *Marine and Petroleum Geology*, 20, 309– 322.

Dickson W.G., Danforth A.R., Odegard M.E. (2003b). Gravity signatures of sediment systems: predicting reservoir distribution in Angolan and Brazilian basins. In: T. J. Arthur, D. S. MacGregor, N. R. Cameron (Eds), *Petroleum Geology of Africa: New Themes and Developing Technologies*. 207, 241–256. London: The Geological Society.

Kuchle, J., Scherer, C. M. S. (2010). Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(2), 179-206.

Matos, R. M. D. (2000). Tectonic evolution of the equatorial south Atlantic. In: W. Mohriak, M. Talwani (Eds.), *Atlantic rifts and continental margins*. 331-354. Washington, D.C.: American Geophysical Union.

Matos, R. M. D., Norton, I., Casey, K., Krueger, A. (2021). The fundamental role of the Borborema and Benin–Nigeria provinces of NE Brazil and NW Africa during the development of the South Atlantic Cretaceous Rift System. *Marine and Petroleum Geology*, 127, 104872.

Medeiros, A. K. A., Córdoba V. C. (2020). Stratigraphic analysis of Ponta do Mel carbonate platform, Albian-Cenomanian in Potiguar Basin, NE of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 102, 102675.

Mohriak, W. U. (2003). Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti, J. H. Gonçalves (Eds), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, 87-165. São Paulo: CPRM.

Morais, J. M. (2013). *Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore*. Brasília: Petrobras.

Morais Neto, J. M., (1999). As coberturas sedimentares terciárias do interior da Paraíba e Rio Grande do Norte e a gênese da Antéclise da Borborema. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Escola de Minas - UFOP.

Morais Neto, J. M., Hegarty, K. A., Karner, G. D., Alkmin, F. F., (2009). Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, northeastern Brazil. *Marine Petroleum Geology*, 26, 1070–1086.

Nelson, A. (2016). Staatsolie's VISION 2030: the contributions of petroleum geology to Surinamese Society. *Netherlands Journal of Geosciences*, 95(4), 375-392.

Posamentier, H. W., Kolla, V. (2003). Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, 73(3), 367-388.

Pessoa Neto, O. C., Soares, U. M., Fernandes da Silva, J. G., Roesner, E. H., Florencio, C. P., Souza, C. A. V. (2007). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 357-369.

Pessoa Neto, O.C. (2003). Estratigrafia de Sequências da Plataforma mista neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(3), 263-278.

Sprague, A. R., Patterson, P. E., Hill, R., E., Jones, C. R., Campion, K. M., Van Wagoner, J. C., Sullivan, M. D., Larue, D. K., Feldman, H. R., Demko, T. M., Wellner, R. W., Geslin, J. K. (2002). The Physical stratigraphy of Fluvial strata: A Hierarchical Approach to the Analysis of Genetically Related Stratigraphic Elements for Improved Reservoir Prediction, In: AAPG Annual Meeting. Houston, *Resumos*.

Vasconcelos, E. P., Lima Neto, F. F., ROOS, S. (1990). Unidades de correlação da Formação Açú – Bacia Potiguar. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, 227-240. Natal: SBG.

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS
PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR OFFSHORE OESTE DA
BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

MONTEIRO (2022)
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da análise de uma seção sedimentar à luz da estratigrafia de seqüências em águas profundas necessitar de estudos que integrem as porções proximais e distais, o trabalho aqui realizado foi calcado nos setores que englobam a plataforma externa, a borda da plataforma e as regiões de talude, sopé de talude e bacia. Esta integração, com base no modelo de estratigrafia de seqüências aplicado a sistemas marinhos profundos (*sensu* Catuneanu, 2020) visou o reconhecimento dos distintos depósitos, o estabelecimento dos ciclos estratigráficos, o posicionamento das principais superfícies de caráter cronoestratigráfico e a definição de seqüências. Contudo, devido à natureza complexa da área e à utilização de dados de diferentes escalas (sísmica e de poço), fez-se necessário também a adoção do Modelo de Arquitetura Aninhada de Catuneanu (2019a, 2019b), o qual permitiu integrar unidades estratigráficas de diferentes ordens (ou frequências).

Assim, foram estabelecidas seqüências de hierarquias distintas, a depender da resolução do dado utilizado; sendo, portanto, as unidades sismoestratigráficas, as seqüências de menor frequência (ou menor ordem), caracterizadas internamente, com base nas características sísmicas, pelos tratos de sistemas sísmicos, e as seqüências de maior frequência (ou maior ordem), composta pelos tratos de sistemas deposicionais.

Diante disso, o intervalo compreendido entre as discordâncias/concordâncias correlativas do Albiano inferior e do Eoceno médio é constituído pelas unidades sismoestratigráfica 1 e 2 no tocante a fase drifte transgressiva da Bacia Potiguar que, por sua vez, são formadas pelas seqüências S1 a S4, e S5 e S6, respectivamente, e pela Unidade Sismoestratigráfica 3, que representa os primeiros depósitos do estágio drifte regressivo, sendo formada pelas seqüências S7 e S8.

A Unidade Sismoestratigráfica 1 apresenta inicialmente uma forte influência do sistema fluvial da Formação Açu, que permitiu a entrega de sedimentos terrígenos para as porções distais, em um período de maior energia do rio ou de maior proximidade entre a borda da plataforma e o ponto de entrada de sedimentos, gerando turbiditos de alta densidade ou depósitos referentes a fluxos de grãos grossos, cuja alta proporção arenito/folhelho os caracterizam como as melhores rochas com potencial reservatório para hidrocarbonetos.

Com a subida do nível de base, a plataforma carbonática da Formação Ponta do Mel foi instituída em regiões de borda da plataforma, evoluindo para uma cunha progradante de sedimentos siliciclásticos do final da deposição da Formação Açu.

Na porção mais proximal o registro geológico permitiu a preservação apenas da Unidade Sismoestratigráfica S1, pois a erosão atribuída à Discordância do Campaniano superior impossibilitou a conservação da Unidade Sismoestratigráfica S2, cuja ocorrência se limitou às porções marinhas profundas. Esse pacote sedimentar foi definido a partir de depósitos pelágicos e hemipelágicos que prevaleceram em fases transgressivas ou de nível alto, com ocorrência subordinada de turbiditos de baixa densidade de geometria lentiforme, ou ainda de turbiditos de alta densidade, relacionados a canais de um sistema de leques submarinos desenvolvidos durante uma regressão forçada. Toda essa unidade foi erodida durante o Neocampaniano e o estágio tectônico drifte regressivo se estabeleceu.

Sobre a discordância gerada, a Unidade Sismoestratigráfica 3 foi individualizada, apresentando, à princípio (Sequência S7), pacotes lamosos atribuídos a uma regressão normal que em direção a bacia evoluiu para fluxos de grãos finos. Com a subida do nível de base e o estabelecimento da sedimentação carbonática relativa à Formação Guamaré na região proximal, a quantidade de sedimentos que avançava para as regiões distais diminuiu, logo turbiditos de baixa densidade se formaram de forma subordinada, em virtude da baixa eficiência de transporte e a dominância passou a ser de sedimentos pelágicos e hemipelágicos.

Na porção superior da última unidade (Sequência S8), após uma rápida queda do nível de base que resultou em uma acomodação negativa na bacia, uma alta taxa de aporte sedimentar, provavelmente proveniente de leques proximais, favoreceu a ocorrência de depósitos de escorregamento de massa em água profundas durante uma regressão forçada, cujo limite superior coincidiu com um novo evento erosivo relacionada à Discordância do Eoceno médio.

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS DOS DEPÓSITOS MARINHOS
PROFUNDOS DO ALBIANO AO EOCENO NO SETOR OFFSHORE OESTE DA
BACIA POTIGUAR, MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MONTEIRO (2022)
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, R. S. (2016). *Análise Sismoestratigráfica de Bacias Rifte: Definição de Sismofácies e Arcabouço Tectono-Estratigráfico*. Tese (Doutorado). Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências – UFRGS.
- Araripe, P. T., Feijó, F. J. (1994). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1), 127-141.
- Bertani, R. T., Costa, I. G., Matos, R. M. D. (1990). Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e o habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: G. P. R Gabaglia, E. J. Milani (Eds.) *Origem e evolução de Bacias Sedimentares*, 291-310. Rio de Janeiro: Petrobras.
- Bouma, A. H., (2000). Coarse-grained and fine-grained turbidite systems as end member models: applicability and dangers. *Marine Petroleum Geology*, 17, 137–143.
- Brito, L. H. (2020). *Análise estratigráfica das seções Rifte e Pós-rifte offshore na região do Campo de Pescada, Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira*. Dissertação (Mestrado). Natal: Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra – UFRN
- Brown, L. F., Fisher, W. L. (1977). Seismic-stratigraphy interpretation of depositional system: examples from Brazilian Rift and Pull-Apart Basins. In: C.E. Payton (Ed.) *Seismic Stratigraphy- Applications to Hydrocarbon Exploration*. Memoir, AAPG, 26, 213-248.
- Bulhões, E. M., Amorim, W. N. (2005). Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (tecVA). IX International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 1382-1387. Salvador: European Association of Geoscientists e Engineers.
- Catuneanu O. (2020). Sequence stratigraphy of deep-water systems. *Marine and Petroleum Geology*, 114, 104238.
- Catuneanu O. (2019a). Model-independent sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 188, 312-388
- Catuneanu O. (2019b). Scale in sequence stratigraphy. *Marine and Petroleum Geology*, 106, 128-159.
- Catuneanu O. (2006). *Principles of sequence stratigraphy*. Amsterdam, Elsevier.

Chang, H. K., Kowsmann, R. O., Figueiredo, A. M. F., Bender, A. A. (1992). Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift System: an overview. *Tectonophysics*, 213, 97-138.

Córdoba, C. C. (2001). *Evolução da Plataforma Carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar: Análise Paleoambiental, Diagenética e Estratigráfica*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

Cremonini, O. A., Goulart, J. P. M., Soares, U. M. (1996). O Rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. IV Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 89-93. Rio Claro: Boletim do Rio Claro.

Cunha, J. A. O., Córdoba, V. C., Soares, U. M., Sousa, D. C, Vital, H. (2021). Evolution of shallow and deep-water deposits included in the regressive drift succession of the Potiguar Basin (Brazilian Equatorial Margin) during the Late Cretaceous to Holocene. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103420.

De Gasperi A., Catuneanu O. (2014) Sequence stratigraphy of the Eocene turbidite reservoirs in Albacora field, Campos Basin, offshore Brazil. *AAPG Bulletin*, 98(2), 279-313.

Dickson, W. G., Fryklund, R. E., Odegard, M. E., Green, C. M. (2003a). Constraints for plate reconstruction using gravity data – implications for source and reservoir distribution in Brazilian and West African margin basins. *Marine and Petroleum Geology*, 20, 309– 322.

Dickson W.G., Danforth A.R., Odegard M.E. (2003b). Gravity signatures of sediment systems: predicting reservoir distribution in Angolan and Brazilian basins. In: T. J. Arthur, D. S. MacGregor, N. R. Cameron (Eds), *Petroleum Geology of Africa: New Themes and Developing Technologies*. 207, 241–256. London: The Geological Society.

Ellis, D. V., Singer, J. M. (2007). *Well Logging For Earth Scientists*. Berlin: Springer.

Emery, D., Myers, K.J. 1996. *Sequence Stratigraphy*. Oxford: Blackwell Scientific Company.

Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2009). *Geofísica de exploração*. São Paulo: Oficina de textos.

Kuchle, J., Scherer, C. M. S. (2010). Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(2), 179-206.

Matos, R. M. D. (2000). Tectonic evolution of the equatorial south Atlantic. In: W. Mohriak, M. Talwani (Eds.), *Atlantic rifts and continental margins*. 331-354. Washington, D.C.: American Geophysical Union.

Matos, R. M. D., Norton, I., Casey, K., Krueger, A. (2021). The fundamental role of the Borborema and Benin–Nigeria provinces of NE Brazil and NW Africa during the development of the South Atlantic Cretaceous Rift System. *Marine and Petroleum Geology*, 127, 104872.

Medeiros, A. K. A., Córdoba V. C. (2020). Stratigraphic analysis of Ponta do Mel carbonate platform, Albian-Cenomanian in Potiguar Basin, NE of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 102, 102675.

Mitchum Jr., R. M., Vail, P. R., Sangree, J. B. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional Sequences. In: C. E. Payton (Ed.) *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Memoir, AAPG, 26, 117-133.

Mohriak, W. U. (2003). Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti, J. H. Gonçalves (Eds), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, 87-165. São Paulo: CPRM.

Morais, J. M. (2013). *Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore*. Brasília: Petrobras.

Morais Neto, J. M., (1999). As coberturas sedimentares terciárias do interior da Paraíba e Rio Grande do Norte e a gênese da Antéclise da Borborema. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Escola de Minas - UFOP.

Morais Neto, J. M., Hegarty, K. A., Karner, G. D., Alkmin, F. F., (2009). Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, northeastern Brazil. *Marine Petroleum Geology*, 26, 1070–1086.

Mutti, E., Normark, W.R. (1987). Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. In: Leggett, J. K., Zuffa, G. G. (Eds.), *Marine clastic sedimentology: concepts and case studies*. 1-38. London: Graham and Trotman.

Nelson, A. (2016). Staatsolie's VISION 2030: the contributions of petroleum geology to Surinamese Society. *Netherlands Journal of Geosciences*, 95(4), 375-392.

Nery G. G. (1990). *Perfilagem geofísica em poço aberto*. Apostila do Curso de Engenharia de Petróleo, Salvador, Centro de Ensino da Petrobras, 231p.

Nichols G. 2001. *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Blackwell Science.

Posamentier, H. W., Kolla, V. (2003). Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, 73(3), 367-388.

Pessoa Neto, O. C., Soares, U. M., Fernandes da Silva, J. G., Roesner, E. H., Florencio, C. P., Souza, C. A. V. (2007). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 357-369.

Pessoa Neto, O. C. (2003). Estratigrafia de Sequências da Plataforma mista neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(3), 263-278.

Ribeiro, H. J. P. S. (Org.) (2001). *Estratigrafia de Sequências – Fundamentos e Aplicações*. Rio Grande do Sul: Editora Unisinos.

Rider, M. (1996). *The Geological Interpretation of Well Logs*. Scotland: Rider-French Consulting Ltd.

Sprague, A. R., Patterson, P. E., Hill, R. E., Jones, C. R., Campion, K. M., Van Wagoner, J. C., Sullivan, M. D., Larue, D. K., Feldman, H. R., Demko, T. M., Wellner, R. W., Geslin, J. K. (2002). The Physical stratigraphy of Fluvial strata: A Hierarchical Approach to the Analysis of Genetically Related Stratigraphic Elements for Improved Reservoir Prediction, In: AAPG Annual Meeting. Houston, *Resumos*.

Vail, P. R., Mitchum Jr., R. M. (1977). Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 1: Overview. In: C. E. Payton (Ed.). *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*, 26, 51-52. Memoir, AAPG.

Vasconcelos, E. P., Lima Neto, F. F., ROOS, S. (1990). Unidades de correlação da Formação Açu – Bacia Potiguar. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, 227-240. Natal: SBG.

William, R., Arnott, C. (2010). Deep-marine sediments and sedimentary systems. In: N. P. James, R. W. Dalrymple (Eds). *Facies Models*, 295-322. Kingston: Geological association of Canada.