

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DO MIOCENO MEDIO-
INFERIOR – OLIGOCENO SUPERIOR EM UMA ÁREA DA
GUAJIRA ALTA NA BACIA DA GUAJIRA, COLÔMBIA**

HELGA NAYIBE NIÑO GÜIZA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Porto Alegre, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DO MIOCENO MEDIO-
INFERIOR – OLIGOCENO SUPERIOR EM UMA ÁREA DA
GUAJIRA ALTA NA BACIA DA GUAJIRA, COLÔMBIA**

HELGA NAYIBE NIÑO GÜIZA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Mário Ferreira de Lima Filho - UFPE

Prof. Dr. Marivaldo dos Santos Nascimento - UFSC

Dra. Renata dos Santos Alvarenga Kuchle - UFRGS

Dissertação de Mestrado
apresentada como requisito parcial
para a obtenção do Título de Mestre
em Geociências.

Porto Alegre, 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Güiza, Helga Niño

Análise sismoestratigráfica do Mioceno médio-inferior - Oligoceno superior em uma área da Guajira Alta na Bacia da Guajira, Colômbia / Helga Niño Güiza. -- 2016.

65 f.

Orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer.

Coorientador: Juliano Kuchle.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Análise sismoestratigráfica. 2. Bacia da Guajira. 3. Sismofácies. 4. Turbiditos. 5. Fluxo de detritos. I. dos Santos Scherer, Claiton Marlon, orient. II. Kuchle, Juliano, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

À Deus, à vida, à natureza

AGRADECIMENTOS

Gostaria agradecer primeiro que tudo a Deus porque sem ele nada tivesse sido possível.

Agradeço a minha amada empresa ECOPETROL S.A. pela oportunidade e respaldo em meu crescimento profissional.

Agradeço a meu chefe e amigo Victor Ramírez pelo apoio incondicional e por ser ele uns dos responsáveis do ter feito esse mestrado

Agradeço ao meu orientador Claiton Scherer por sua confiança e disposição sempre a me ajudar.

Agradeço ao professor Juliano pelos conselhos e a disponibilidade sempre que eu precisei.

Agradeço a meu melhor amigo Fabio por ter me motivado e apoiado para fazer esse mestrado.

Agradeço a os meus amigos Claudia, Lina, Oswaldo, e colegas do escritório sempre penderes de me ajudar. Obrigada pela ajuda permanente a minha amiga Lina.

Agradeço a minhas amigas Daiane, Rosa, Sabrina, Rita, Christie por sempre ter uma palavra, um sorriso e fazer me sentir como em casa.

Agradeço ao tudo o pessoal do prédio do Pos-Graduação em Estratigrafia sempre amáveis e acolhedores comigo.

Agradeço à UFRGS por brindar a oportunidade aos alunos estrangeiros de estudar em um programa de mestrado dessa qualidade.

Agradeço a minha família por ter me apoiado desde o começo do mestrado.

Por fim, agradeço ao meu esposo pelo amor, confiança e paciência nestes dois anos ainda nos momentos mais difíceis.

Muito Obrigada

RESUMO

O Caribe Colombiano é o foco da exploração na Colômbia, e a Bacia da Guajira na sua parte offshore tem sido relativamente pouco explorada. O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo sísmico de alta resolução aplicável á áreas sem exploração em blocos novos ou para ter diferentes perspectivas em blocos já explorados, neste caso para o intervalo de tempo compreendido entre o limite do Mioceno médio-inferior e o Oligoceno superior, em uma área da Guajira Alta. A partir da integração de duas seções sísmicas 2D, associadas a seis poços com litologias definidas por amostras de calha, foi realizada: (1) uma análise sismoestratigráfica de alta resolução incluindo a interpretação das terminações dos refletores, definição das unidades sismoestratigráficas e superfícies chave, (2) identificação das sismofácies, (3) a elaboração de uma carta cronoestratigráfica. Como resultado, foram individualizadas cinco unidades sísmicas, seis sismofácies e a carta cronoestratigráfica. Todas as unidades sísmicas identificadas correspondem com depósitos de gravidade tipo fluxo de detritos e turbiditos, e depósitos hemipelágicos. As sismofácies caracterizadas como turbiditos (refletores paralelos, subparalelos, *hummocky*), são geralmente calcáreas, as sismofácies de fluxo de detritos (refletores caóticos), têm mistura de litologias tipo folhelhos, siltitos, lamitos, arenitos e carbonatos, e as sismofácies definidas como depósitos hemipelágicos (refletores paralelos, subparalelos), correspondem em sua maioria com depósitos finos. Na carta cronoestratigráfica indica uma deposição contínua em esse intervalo de tempo.

Palavras-chave. Bacia da Guajira, exploração, alta resolução, análise sismoestratigráfica, sismofácies.

ABSTRACT

Colombia Caribbean province is an important hydrocarbon exploration target in Colombia, a Guajira Offshore Basin as part of this province and is a frontier basin today. Main objective of this study is to develop a high resolution seismic stratigraphic study to be applied to unexplored areas on new blocks and/or to have another interpretation in low explored areas, in this case, on the specific time interval upper Oligocene-middle-lower Miocene, selecting a study area in Upper Guajira offshore. Data integration of two seismic sections and lithologic logs from six wells obtained from cuttings made possible to interpret: 1) High resolution seismic stratigraphic analysis including seismic stratigraphic units and key surfaces definition, seismic reflectors pinch outs, 2) seismic facies definition and 3) chronostratigraphic chart. From this analysis were established five seismic units, six seismic facies and a chronostratigraphic events chart. All interpreted seismic units correspond to gravity flow deposits debris and turbiditic type and hemipelagic deposits. Turbidite type seismic facies (parallel, subparallel and *hummocky* reflectors), are usually calcareous in composition, as well as detrital fluxes (chaotical reflectors), are generally a mixture of sandstones, limestones, siltstones, mudstones and shales, and hemipelagic seismic facies (parallel to subparallel reflectors) correspond to thin bedded deposits usually silty and muddy. Chronostratigraphic chart events indicates continuous deposition in this time interval.

Keyword. Guajira Basin, exploration, high resolution, seismic stratigraphic analysis, seismic facies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação das terminações com os limites de sequências deposicionais. (Modificado de Catuneanu, 2002 e Mitchum, 1977).....	14
Figura 2. Conceitos básicos de sequências deposicionais. Em 1ª, uma seção estratigráfica genérica com unidades estratigráficas numeradas de 1 a 25, marcando os limites das sequências deposicionais. Em 1b, (a seção cronoestratigráfica da mesma seção 1ª, evidenciando hiatos com erosão ou não deposição. (Tomado de Mitchum, 1977).....	15
Figura 3. Configuração interna e externa das reflexões sísmicas (Tomado de Mitchum, 1977).....	16
Figura 4. Configuração tetônica da Placa Caribe e das Placas Sul-Americana, Nazca, Cocos y Norte-Americana.....	18
Figura 5. Unidades estruturais presentes na margem do Caribe. Modificado de López et al., 2014.....	19
Figura 6. Localização das serranias de Macuira, Jarara e Cosinas de das sub-bacias Chimare, Portere e Cosinetas na Guajira Alta.....	20
Figura 7. Evolução tectonoestratigráfica na bacia da Guajira (modificada de Mantilla et al, 2013).....	21
Figura 8. Coluna estratigráfica geral da Guajira Alta (modificada de Rollins, 1965)..	25
Figura 9. Unidades Cenozoicas presentes na Bacia da Guajira Alta.....	26

SUMÁRIO

1. TEXTO EXPLICATIVO
 2. INTRODUÇÃO
 3. ESTADO DA ARTE
 - 3.1. ANTECEDENTES E CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE SISMOESTRATIGRAFIA
 - 3.2. METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO SISMOESTRATIGRAFICA
 4. CONTEXTO GEOLÓGICO
 5. ARTIGO SUBMETIDO
 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS
 7. REFERÊNCIAS
-

1 TEXTO EXPLICATIVO

Sobre a Estrutura desta Dissertação:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido a uma publicação em periódico. Por tanto, sua estrutura compreende as seguintes partes:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do propósito do projeto do mestrado, onde estão ilustrados os objetivos e o alcance da pesquisa desenvolvida, o estado da arte sobre o tema em geral, uma breve discussão teórica sobre a metodologia aplicada e os principais resultados obtidos.
 - b) Artigo, inserido no corpo da dissertação, submetido ao periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pelo autor e revisado pelos orientadores, durante o desenvolvimento do mestrado.
-

2 INTRODUÇÃO

A exploração petroleira na Guajira começou nos finais dos anos quarenta com a perfuração da empresa Shell dos poços Ranchería-1 y 2, localizados perto do município do Riohacha (Guajira Baixa) . Nos anos 70 a TEXACO fez a descoberta dos campos Ballena (~1200GPCG), Chuchupa (~5700GPCG), e Riohacha (100GPCG), na Guajira Baixa. Na Guajira Alta a MOBIL fez a perfuração do poço Santa Ana-1(400GPCG – 15MPCGD), mas foi considerado como não comercial. No ano 2014 ECOPETROL S.A., PETROBRAS e REPSOL fizeram o descobrimento do poço Orca-1 no offshore da sub-bacia da Guajira Alta. O poço Orca-1 é um poço A3 (exploratório).

Estudos feitos na Guajira coincidem no fato que existem intervalos com potencial gerador de hidrocarbonetos, principalmente gás (kerogeno tipo III), nas sequências do Eoceno, Oligoceno e Mioceno Temprano. É importante ressaltar que no sentido regional, o Cretáceo tem um excelente potencial gerador de hidrocarbonetos, especialmente líquidos; ainda que nenhum poço tenha perfurado esse intervalo na zona de estudo. O Cretáceo pode estar presente nas partes mais profundas dos depocentros e ter gerado ou estar gerando hidrocarbonetos atualmente.

Na atualidade o foco da exploração na Colômbia é o Offshore do Caribe, e a bacia da Guajira na sua parte offshore tem sido relativamente pouco explorada. Porém, Ecopetrol tem feito vários estudos (onshore – offshore), em as diferentes áreas da bacia com a intenção de conhecer o potencial exploratório da bacia. No presente estudo a finalidade é caracterizar um intervalo alvo da seção miocênica - oligocênica através de uma análise sismoestratigráfica. A rotina metodológica usada neste estudo poderá ser utilizada em áreas sem exploração em blocos novos ou para ter diferentes perspectivas em blocos explorados.

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Fazer um estudo sísmico de alta resolução no Mioceno médio-inferior - Oligoceno superior em uma área da Guajira Alta.
-

- Interpretação das terminações dos refletores y definição das unidades sísmicas presentes nesse intervalo de tempo.
- Caracterização e análise das sismofácies reconhecidas no intervalo de estudo.
- Elaboração da carta cronoestratigráfica de eventos para esse intervalo de tempo.

3 ESTADO DA ARTE

Foi realizada uma revisão bibliográfica de conceitos chave relativos á estratigrafia sísmica e sua interpretação com a finalidade de aplica-la no conhecimento de um área nova ou uma área já explorada.

3.1 ANTECEDENTES E CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE INTERPRETAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA

Desde o início do século 20, a maioria das empresas de petróleo e gás tem focado em encontrar grandes estruturas (idealmente), contendo grandes quantidades de óleo. Essa tendência continuou em 1982, mas com as estruturas fáceis já descobertas na maior parte dos Estados Unidos e em muitos outros lugares do mundo, a procura por campos gigantes ocorreu tanto em países relativamente pouco explorados, quanto em contexto de fronteira exploratória em países explorados previamente.

Os princípios da estratigrafia sísmica introduzidos por Peter Vail e outros em 1977 mudaram esses paradigmas fornecendo uma nova estrutura para definir, explorar e explorar trapas (armadilhas) estratigráficas. Entretanto, a maioria da interpretação sísmica na década dos anos 80 foi feita utilizando dados sísmicos 2D. Embora o início dos levantamentos sísmicos tridimensionais (3D) começaram ser adquiridos em meados dos anos 70, a maioria das empresas considera-los para exploração em vez de uma ferramenta de exploração.

Além de ser 2D, a maioria dos dados sísmicos no início dos anos 80 foram interpretados em seções de papel a mão utilizando lápis de cor. Entretanto, a grande quantidade de dados sísmicos 2D e 3D que foram adquiridos desde a década de 70

deu origem a uma explosão de dados que gerou a necessidade de procurar maneiras mais eficientes de interpretação dos dados sísmicos adquiridos. A partir da década de 1980, os dados sísmicos foram processados digitalmente. Uma vez que os processadores sísmicos começaram de forma interativa a seleção de parâmetros e controle da qualidade das imagens resultantes, seguido pela *picking statics*, o passo à interpretação sísmica interativa foi bem simples.

Usando os princípios da estratigrafia de sequências expostos por Vail *et al.* (1977), exploracionistas começaram reconhecer trapas estratigráficas em seus dados sísmicos e em poços. Essas trapas (armadilhas) se acreditavam tinham sido formadas como resultado de mudanças laterais na litologia ou uma ruptura na continuidade da rocha reservatório. Cunhamentos, inconformidades, recifes, lentes de areia, ou depósitos de canal são apenas alguns dos exemplos de armadilhas estratigráficas tempranas.

A interpretação estratigráfica da sísmica 2D durante a década de 1980 foi limitada pela resolução vertical e relativamente baixas relações sinal-ruído. Mesmo assim, o fluxo de trabalho da estratigrafia sísmica permitiu aos intérpretes fazer correlações em tempo geológico, definir unidades deposicionais em termos de sua espessura e ambiente de deposição, história de soterramento, paleotopografia, e assim por diante.

Essas aproximações continuaram com a assimilação dos volumes sísmicos 3D que fornecem dados na amostragem espacial aumentando a precisão do imageamento sísmico, permitindo estimar com precisão a espessura e extensão areal de corpos reservatórios. (Chopra e Marfurt, 2012).

Os métodos e técnicas de análise sismoestratigráfica foram propostos formalmente no *Memoir 26* da AAPG – *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration* (Payton, 1977), onde particularmente Peter Vail e Robert Mitchum, pesquisadores da Exxon, apresentaram os avanços de sua equipe no desenvolvimento de teorias e métodos na exploração de petróleo, com enfoque principal no Golfo do México. Este volume representou uma grande evolução no conhecimento, pois apresentou um conjunto de teorias e métodos de análise estratigráfica consideradas extremamente inovadora para a época. Também a partir

de dados sísmicos, foram elaboradas as curvas globais de variação do nível do mar (global chart of sea level changes – Vail et al., 1977c). Estas curvas suscitaram opiniões favoráveis e desfavoráveis que repercutem até os dias de hoje. Porém, justamente por se estabelecer uma discussão neste sentido, sua importância é inquestionável, como demonstram os trabalhos que a sucederam (e.g., Haq et al., 1988; Jervy, 1988; Graciansky et al., 1998; Catuneanu et al., 2009). Na verdade, as proposições de Vail e colaboradores para a sismoestratigrafia resultaram principalmente da necessidade de desenvolver modelos regionais e padrões gerais de sistemática de mapeamento de unidades estratigráficas em seções sísmicas. A partir desta metodologia, foi resgatado (1) o conceito de sequência limitada por discordâncias, de Sloss *et al.* (1949), que serviu de base para a sistemática de fatiamento sísmico, e (2) o conceito de estratigrafia temporal de Wheeler (1958), que estabeleceu as bases para a análise cronoestratigráfica em seções sísmicas. Assim, os fundamentos de mapeamento de unidades estratigráficas, baseados nos padrões de terminações de refletores, foram o pilares mestre para o estabelecimento da sismoestratigrafia. A partir de então, a sismoestratigrafia ou estratigrafia sísmica teve seus conceitos fundamentais (superfícies estratigráficas e relações temporais – deposições e hiatos) transportados diretamente para um conjunto de dados externos ao mundo sísmico: poços, perfis e afloramentos. (Kuchle e Scherer, 2010)

Como as reflexões sísmicas representam linhas de tempo deposicionais, não só é possível interpretar deformação pós-deposicional, mas também é possível fazer os seguintes tipos de interpretação estratigráfica a partir da correlação dos padrões geométricos das reflexões sísmicas:

- Correlações em tempo geológico
 - Definição de unidades deposicionais genéticas (unidades sísmicas)
 - Espessura e ambiente deposicional de unidades sísmicas
 - Paleobatimetria
 - História de soterramento
 - Relevo e topografia das inconformidades
 - Paleogeografia e história geológica
-

Para atingir esses objetivos geológicos, é preciso seguir o procedimento de interpretação que inclui três passos:

- Análise e definição das unidades sísmicas
- Análise e definição das fácies sísmicas
- Análise de mudanças relativas do nível do mar

A seguir detalharemos métodos sismoestratigráficos que serão utilizados na presente dissertação.

3.2 METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA

Para a análise sismoestratigráfica da área inicialmente foram escolhidas 2 seções sísmicas (*strike & dip*) formadas por 6 linhas sísmicas 2D com o propósito de ter uma melhor cobertura regional da área de interesse. Uma vez interpretadas decidiu-se integrar os resultados de cada seção em uma única seção sísmica regional e sobre esta seção composta efetuar a metodologia da análise sismoestratigráfica. Além dos dados das linhas sísmicas 2D, foi utilizada a informação litológica das amostras de calha de 6 poços exploratórios incluídos nas linhas e os perfis de poço.

O reconhecimento de elementos estratigráficos interpretados na sísmica foi baseado nos princípios da sismoestratigrafia definidos por Mitchum, Vail e outros autores no *Memoir 26 da AAPG – Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration* (Payton, 1977).

No início foram interpretados os refletores e suas terminações, seguido pela interpretação das unidades sísmicas (e superfícies chave), identificação das sismofácies e finalizando com a elaboração de uma carta cronoestratigráfica.

Uma unidade sísmica consiste em unidade estratigráfica composta por uma sucessão de estratos geneticamente relacionados e delimitados no topo e na base por superfícies sísmicas, marcada pelas terminações das reflexões (Mitchum *et al.* 1977). Na proposição original os autores propuseram o nome de sequência sísmica (sequência deposicional) para as unidades definidas na sísmica, mas posteriormente

observou-se que as unidades sísmicas correspondem a tratos de sistemas, ou parte de tratos de sistemas deposicionais. Em decorrência disso, abandonou-se a designação de sequência sísmica.

Com base em Mitchum *et al.* (1977), uma unidade sísmica é definida por terminações de refletores de base e de topo que podem representar superfícies de gênese diversas. As principais terminações utilizadas na interpretação dos refletores são (figura 1):

Terminações de base:

- ✓ Onlap: estratos horizontais que terminam em uma superfície inclinada.
- ✓ Downlap: estratos inclinados terminam mergulhando sobre uma superfície horizontal ou menos inclinada, basal.
- ✓ Concordante: refletores que não terminam, mas são paralelos ao limite.

Terminações de topo:

- ✓ Toplap: refletores que terminam em uma superfície superior, resultado de uma não deposição ou erosão.
 - ✓ Truncamento Erosivo: implica a deposição de camadas e sua posterior remoção ao longo de uma superfície de discordância.
 - ✓ Concordante: refletores que não terminam, mas são paralelos ao limite.
-

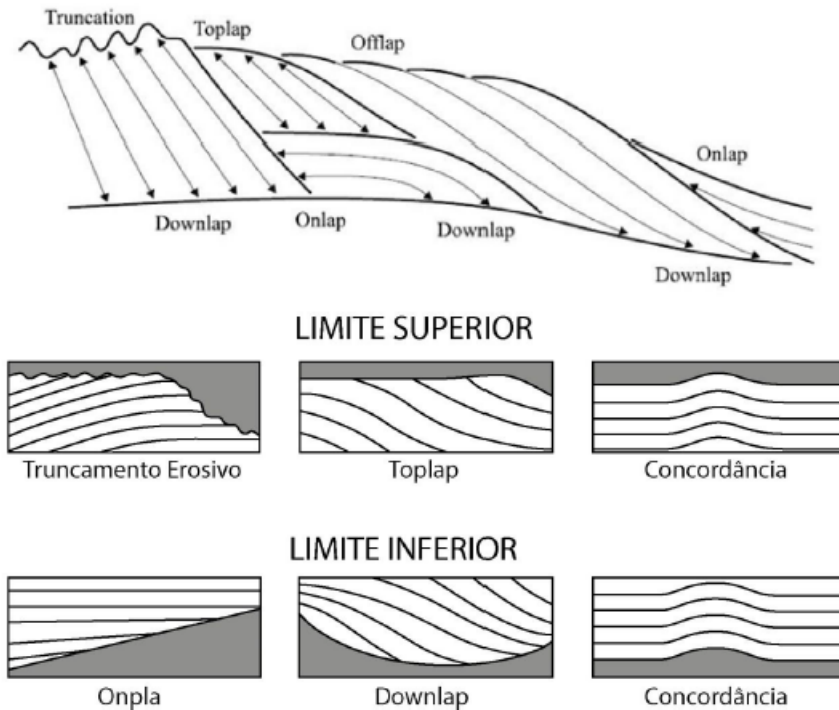


Figura 1. Relação das terminações com os limites de seqüências deposicionais. (Modificado de Catuneanu, 2002 e Mitchum, 1977)

Com a interpretação dos refletores finalizada e utilizando-se esses conceitos, foi possível caracterizar unidades sísmicas. Essas unidades representam conjuntos de estratos cronoestratigraficamente relacionados, individualizando diferentes fatias do tempo geológico, e suas superfícies limítrofes representam períodos de não deposição ou erosão (Mitchum *et al*, 1977), (figura 2). Essa definição está associada ao conceito de tratos de sistemas de Brown & Fischer (1977).

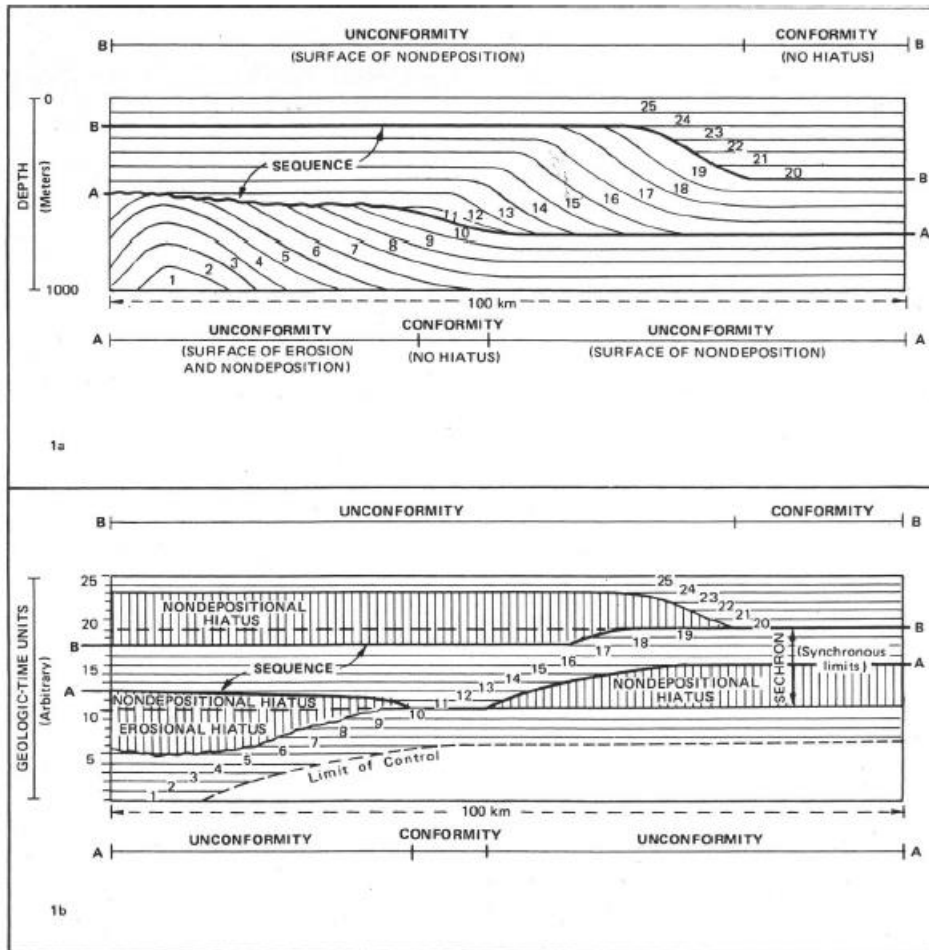


Figura 2. Conceitos básicos de seqüências deposicionais. Em 1^a, uma seção estratigráfica genérica com unidades estratigráficas numeradas de 1 a 25, marcando os limites das seqüências deposicionais. Em 1b, (a seção cronoestratigráfica da mesma seção 1^a, evidenciando hiatos com erosão ou não deposição. (Tomado de Mitchum, 1977).

Após a definição das unidades sísmicas, foi feita uma análise das sismofácies constituintes das unidades sísmicas. Uma sismofácies é uma unidade sísmica tridimensional mapeável, composta por um grupo de refletores cujos parâmetros diferem do conjunto de refletores adjacentes. Pode ser descrita conforme uma série de parâmetros, como sua configuração de refletores, amplitude, continuidade, frequência e geometria interna e externa (figura 3). A identificação desses parâmetros permite a interpretação do ambiente deposicional, fonte de sedimentos e o contexto geológico em que as fácies sísmica foi depositada (Mitchum *et al*, 1977).

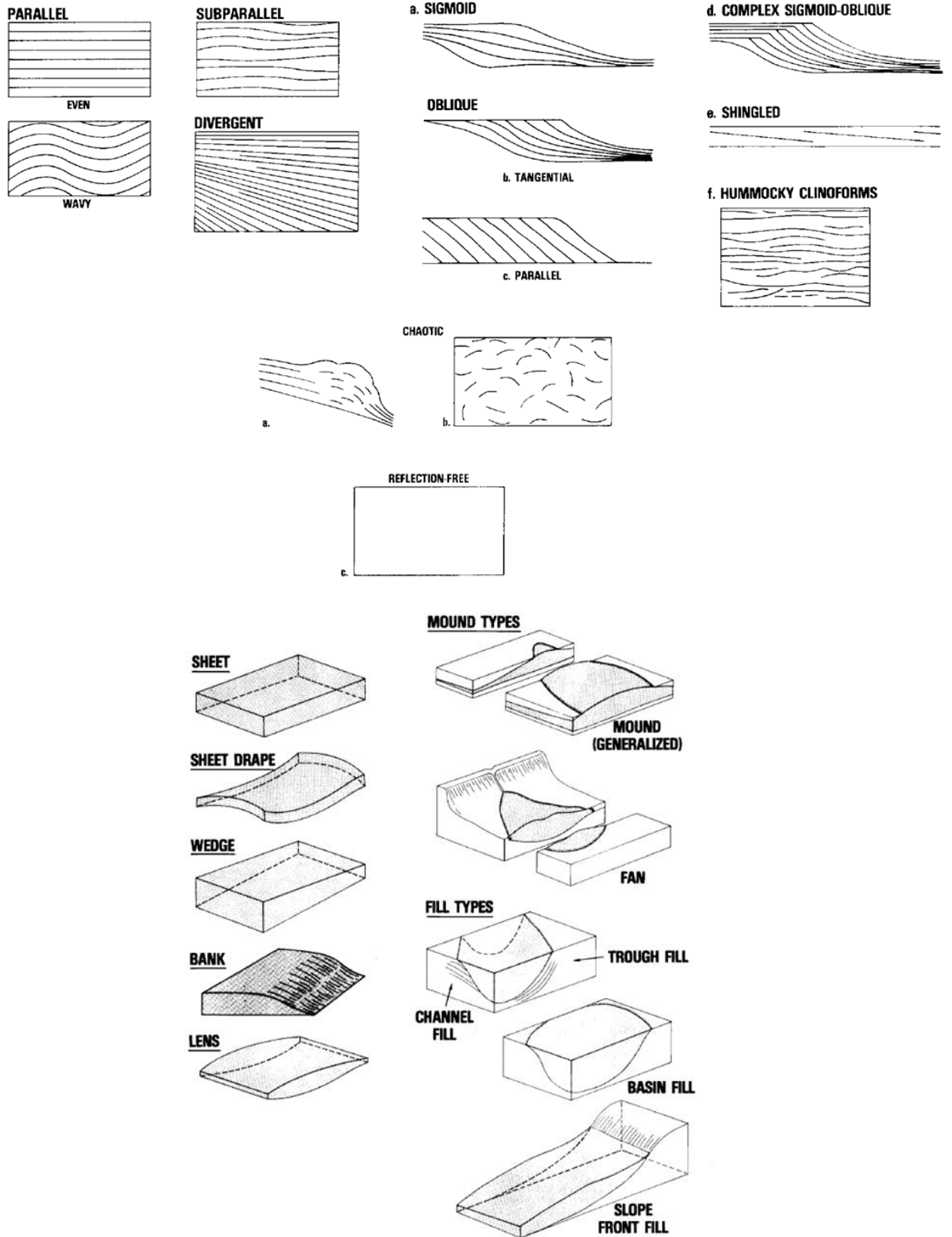


Figura 3. Configuração interna e externa das reflexões sísmicas (Tomado de Mitchum, 1977).

Além do mais, correlacionando a sísmica com os dados dos poços e possível sugerir a litologia correspondente a uma determinada fácies sísmica. As fácies sísmicas não apresentam necessariamente uma relação temporal, podendo ocorrer de forma distribuída no espaço e tempo.

Finalizada a interpretação das linhas pela metodologia proposta por Vail et al., (1977), é elaborada uma carta cronoestratigráfica (Wheeler, 1958). Nessa carta são transportados os dados interpretados em a linha sísmica: as unidades estratigráficas distribuídas em fatias de tempo (figura 2), e as sismofácies, resultando em uma clara distribuição temporal e espacial das unidades e preenchimentos definidos na sísmica. É com a interpretação de cartas cronoestratigráficas de diferentes linhas sísmicas que se compreende o arcabouço estratigráfico e estrutural, averiguando assim se as superfícies definidas apresentam relevância regional, marcando erosões ou superfícies de não deposição. Isto fica explícito em uma carta cronoestratigráfica devido à relação entre as unidades estratigráficas mapeadas, identificada quando uma superfície que separa uma unidade de outra apresenta terminações marcantes, sendo recorrente em um significativo conjunto de linhas sísmicas que cobrem a área, ou quando uma unidade muito mais antiga se encontra em contato direto com uma unidade mais recente, suprimindo unidades entre elas (figura 2).

Após a interpretação detalhada das transectas e da seção composta foi elaborada uma carta cronoestratigráfica da seção composta com a finalidade de compreender o arcabouço estratigráfico nesse intervalo de tempo nessa área da Guajira Alta.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

O offshore do Caribe colombiano está no limite atual entre as placas Sul-Americana e Caribe (Figura 4), onde se geraram distintas províncias estruturais devido á ocorrência de vários eventos de deformação que converteram essa área em uma zona geologicamente complexa. Esta região apresenta diversos estilos estruturais como cinturões de cavalgamento e blocos rotacionados dominados por movimentos direcionais (Rubio et al, 2012).

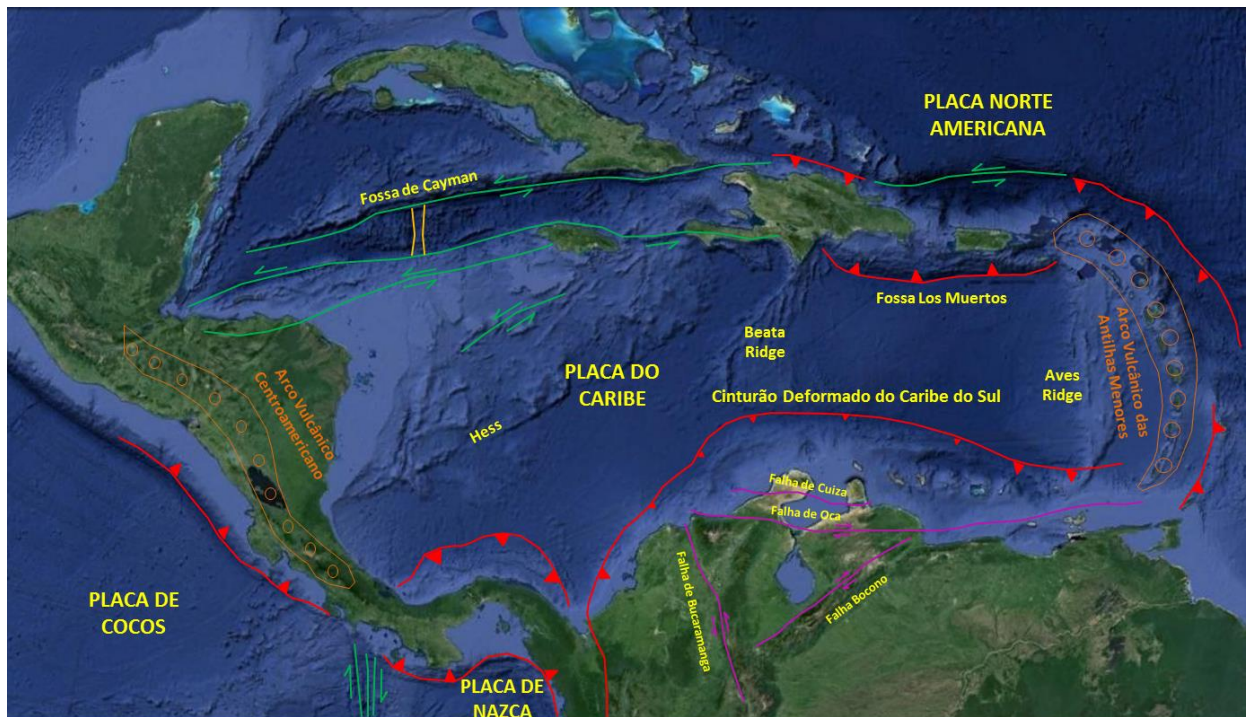


Figura 4. Configuração tetônica da Placa Caribe e das Placas Sul-Americana, Nazca, Cocos y Norte-Americana.

Em termos gerais, a margem do Caribe está composta por quatro principais unidades estruturais (figura 5):

- a) Sistema de *Horst e Graben* para o Sul.
- b) *Slope basin* na parte central.
- c) Cinturão deformado para o Norte (faz parte do Cinturão Deformado do Sul do Caribe).
- d) Bacia oceânica na zona mais Norte (parte SE da borda da Bacia Colômbia em direção á terra).

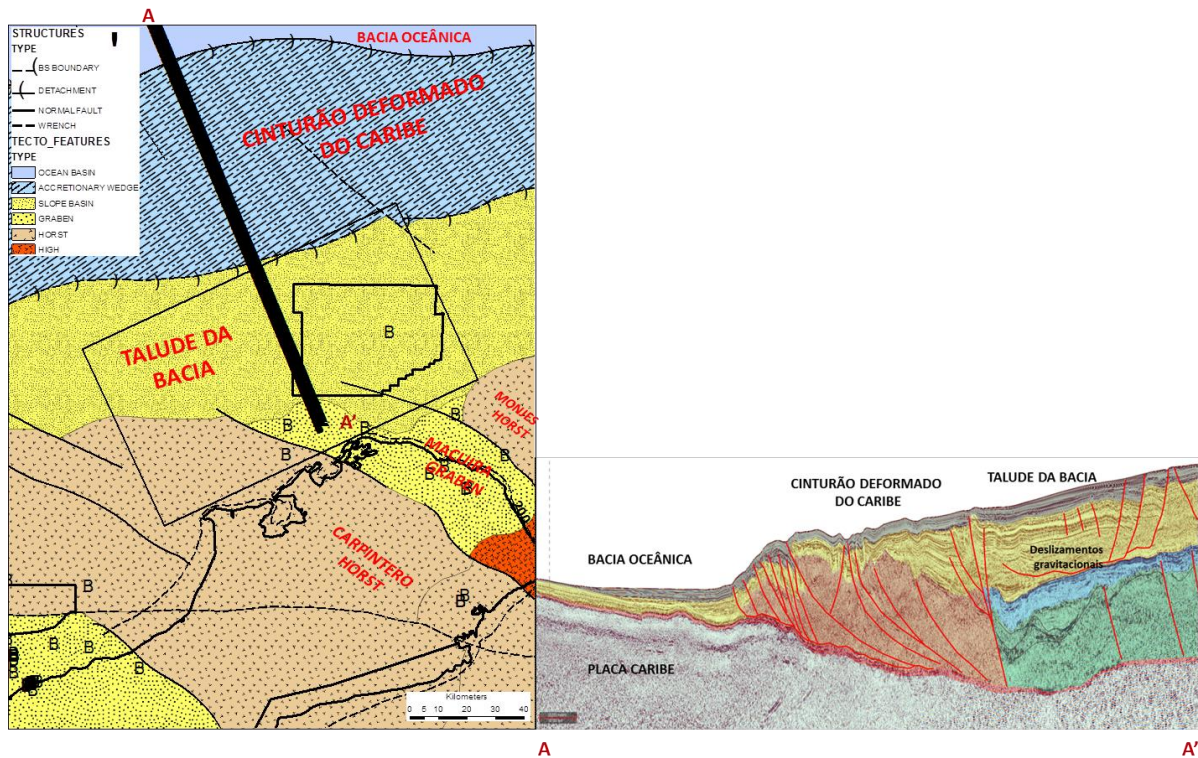


Figura 5. Unidades estruturais presentes na margem do Caribe. Modificado de López et al., 2014

4.1 ESTRATIGRAFIA

A Bacia da Guajira está localizada no norte da Colômbia, no Mar do Caribe e compreende uma área de aproximadamente 50.000 km². A bacia é limitada ao norte e noroeste pelo Cinturão Deformado do Sul do Caribe (CDSC), ao sul pela Falha de Oca e ao leste pela fronteira com a Venezuela. A Bacia da Guajira é dividida em duas bacias: Guajira Alta e Guajira Baixa, separadas pela Falha de Cuisa. A Bacia da Guajira Alta tem três sub-bacias sedimentares terciárias: Chimare, Portete e Cocinetas, limitadas pelas Serras Macuira, Cocinas, Jarara (figura 6).

A Península da Guajira é caracterizada por uma série de morros isolados de baixa altitude: Serrania de Cosinas, Serrania de Jarara e Serrania de Macuira e que são cercadas por antigas sub-bacias sedimentares do Cenozóico (figura 9). A Serrania de Cosinas é uma anticlinal com vergência sudeste e direção geral aproximadamente leste-oeste. As rochas desta estrutura apresentam uma idade entre o Jurássico Médio e Cretáceo Superior. A Serrania de Jarara apresenta uma orientação geral NW-SE, constituída por um embasamento de gnaíse, xisto e

granito micáceo de idade Permo-Triássica (Lockwood, 1965; Cardona et al, 2006; Weber et al., 2010), assim como uma série de unidades metassedimentares ,a sudeste, e metavulcano-sedimentares, a noroeste, todas de idade Cretácea (formações Jarara e Etpana), cortada por rochas magmáticas de idade Eoceno (Cardona et al, 2007). Tal como a Serrania de Jarara, a Serrania de Macuira é um bloco com o embasamento Permo-Triássico cortado por granodioritos Jurássicos (Cardona-Molina et al., 2006) e com a mesma série de rochas metavulcano-sedimentares.

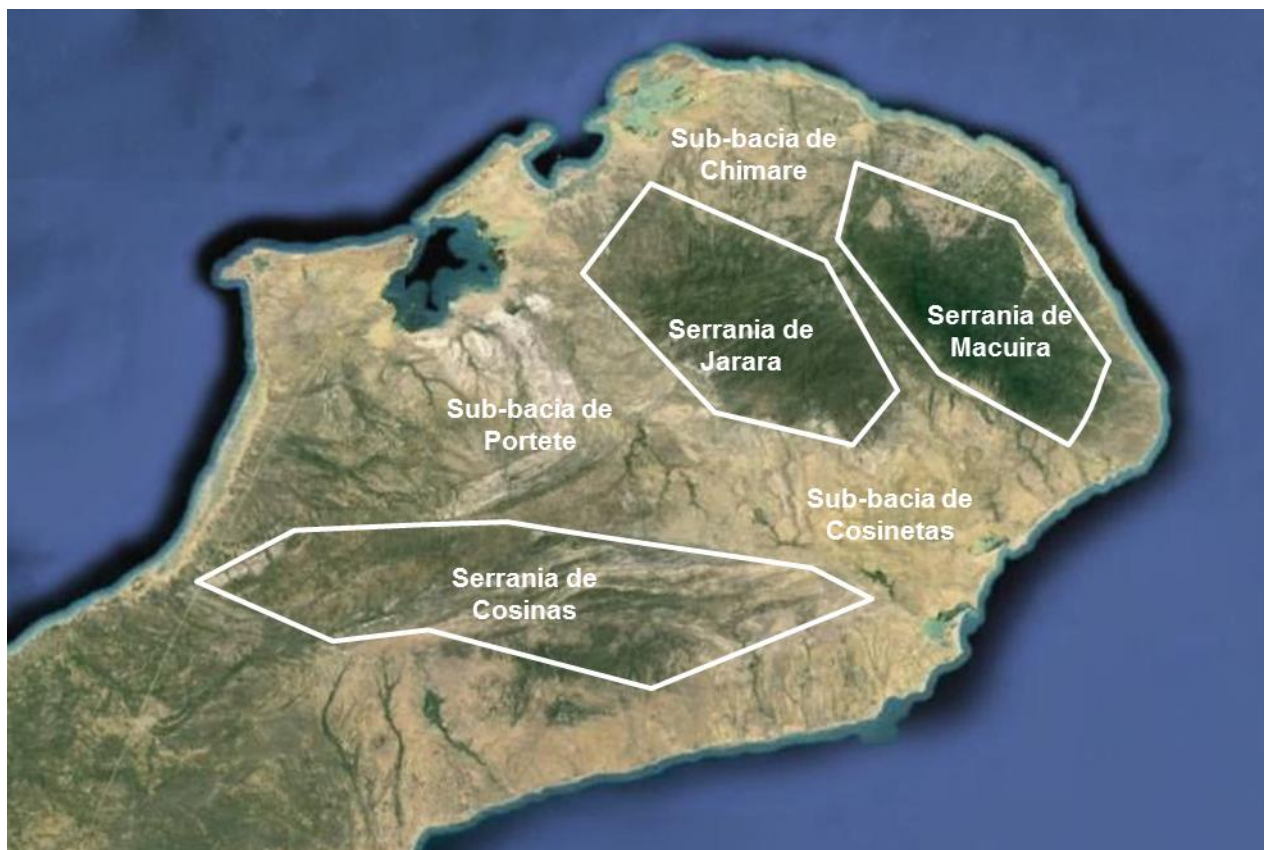


Figura 6. Localização das serranias de Macuira, Jarara e Cosinas de das sub-bacias Chimare, Portere e Cosinetas na Guajira Alta.

Mantilla et al. (2013) reconhece seis seqüências tectôno-sedimentares, que datam desde o Mesozoico até o Plioceno, as quais foram separadas por cinco discordâncias principais (Figura 7). Essas seqüências refletem eventos tectonicos regionais e estão separadas em: (1) Jurásico - Cretacico Inferior (abertura do proto-Caribe), (2) deposição sedimentar em margem passiva durante o Cretácico superior, (3) interação das placas Caribe e Sul Americana no Caribe colombiano durante o Cretácico superior – Paleoceno com acreção de rochas oceânicas, (4) evento de

deformação Eoceno superior – Oligoceno inferior, (5) mudanças eustáticas que geraram uma paraconformidade durante o Oligoceno superior – Mioceno inferior, e (6) evento de deformação durante o Mioceno superior – Plioceno. Algumas dessas seqüências foram previamente documentadas por outros autores (Eva et al., 1989) nas bacias de Falcon e Maracaibo, sugerindo controles tectônicos regionais em os eventos deposicionais e estruturais. (Ramirez et al., 2015).

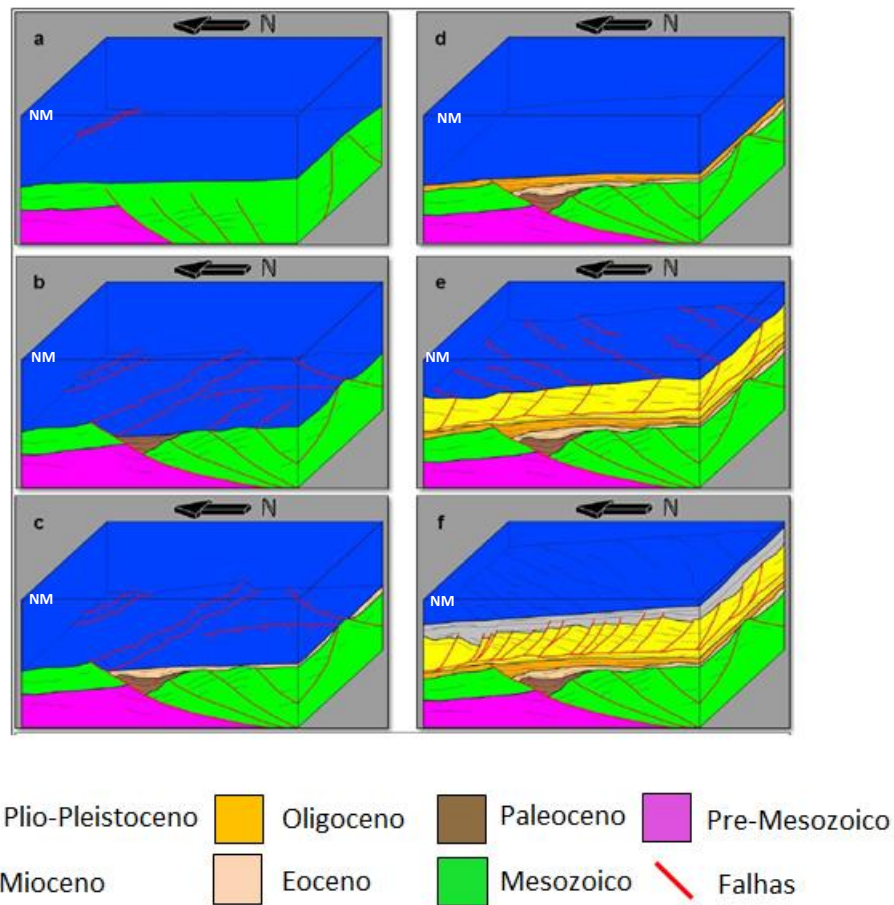


Figura 7. Evolução tectonoestratigráfica na bacia da Guajira.

Na Bacia da Guajira Alta é caracterizada por uma sucessão sedimentar que recobre o embasamento cristalino, iniciando a sedimentação no Triássico e estendendo-se até os dias atuais (Figura 8) (Rollins, 1965). A sucessão sedimentar é caracterizada por unidades separadas por discordâncias regionais. A norte da Bacia da Guajira Alta observa-se a seguinte sucessão de eventos: (1) sedimentos de idade Jurássica repousam discordantes sobre conglomerados e arenitos do Triássico; (2) folhelhos cretáceos repousam de maneira discordante sobre as unidades Jurássicas; (3)

depósitos do Oligoceno (Formação Siamaná) repousam discordantemente sobre camadas da Formação Macarao do Eoceno. Essa última discordância separa rochas metamórficas e sedimentares deformadas das unidades pos-Eocenas sem deformação (Renz, 1960; Rollins, 1965; Lockwood, 1965). O último evento de deformação evidente na área é o gerado pela discordância angular entre rochas do Mioceno e rochas do Plioceno que obedece ao outro pulso do avanço da Placa Caribe com relação à Placa Sul Americana (Escalona & Mann, 2011).

As rochas sedimentares Triássicas são restritas ao norte da Bacia da Guajira Alta, principalmente na Serrania de Macuira. Renz (1960), originalmente definiu esta unidade como Grupo Cojoro. Posteriormente, Rollins (1965) subdividiu o grupo em Formação Rancho Grande e Formação Uitpana. A Formação Rancho Grande consiste de uma sucessão de conglomerados massivos arcósios de cor marrom e arenitos de grão fino a grosso de cor vermelho escuro e pálido, intercalado com folhelhos argilosos e rochas carbonáticas com bivalvos; siltitos cinza finamente cristalinos interestratificados com areias e folhelhos (Rollins, 1965). Rochas ígneas vulcânicas do Triássico, encontradas como *sills*, fluxos e diques estão presentes em vários níveis da Formação Rancho Grande (Rollins, 1965). Já a Formação Uitpana consiste de uma sequência de arenitos quartzosos bem selecionados, intercalados com níveis de conglomerados, com uma zona de siltitos na base. Ambientes deposicionais de praia ou fácies laterais marinhas de costa e uma idade Triássica têm sido propostos para essa unidade (Renz, 1960). A evidente mudança deposicional, de um ambiente continental a um ambiente costeiro, sugere uma transgressão marinha (Renz, 1960).

As rochas Jurássicas afloram ao norte da serrania de Macuira e ao sul na serrania de Cosinas; essas rochas foram descritas originalmente por Renz (1960) e logo redefinidas por Rollins (1965), como o Grupo Cocinas. Possuem na base argilitos de cor vermelho escuro e verde claro, com areias muito quartzosas, densas, de grão fino a muito fino. No topo, areias intercaladas com folhelhos lamosos incolores e siltitos físseis, micáceos e levemente carbonosos (Rollins, 1965). A Formação Caju repousa sobre a Formação Cheterlo e está composta por folhelhos de cor oliva claros e argilitos com camadas de arenitos, siltitos e rochas carbonáticas ao topo. Os folhelhos estão meteorizados com manchas vermelhas e abundante mica ao meio e topo da formação, o que dá uma aparência xistosa. Esta unidade é interpretada como depósitos de ambiente marinho raso (Rollins, 1965). A Formação

Chinapa cobre gradacionalmente a Formação Caju e grada lateral e verticalmente a Formação Cuisa, sobreposta. A Formação Chinapa consiste de camadas espessas de arenitos e conglomerados (Rollins, 1965). Os arenitos são quartzosos, micáceos, de cor pálido a escuro, duros e resistentes, de grão médio ao grosso e localmente na parte inferior da seção são de grão fino. Ambientes continentais ou marinhos rasos têm sido propostos para essa unidade (Rollins, 1965).

A Formação Cuisa é o topo da sequência Jurássica e aflora entre as altas serranias, sobrepondo concordantemente a Formação Chinapa e sotoposta concordantemente a Formação Palanz (Rollins, 1965). Litologicamente se compõe de folhelhos e lamitos micáceos de cor cinza escuro ao marrom, duros, levemente carbonáceos e arenosos. Além são encontradas altas proporções de rochas carbonáticas dolomíticas, rochas carbonáticas arenosas, e rochas carbonáticas de cor amarelo acastanhado (Rollins, 1965).

A Formação Palanz corresponde a base do Cretáceo e aflora como duas faixas consecutivas aos lados da depressão de Cosinas. Está repousando concordantemente sobre a Formação Cuisa e é sobreposta concordantemente pelo Grupo Yuruma. A Formação Palanz está completamente falhada e exibem mudanças rápidas na sua espessura e fácies. É composta por arenitos, conglomerados, níveis de carbonatos de recife, argilitos micáceos e arenitos ao topo. Condições de ambiente continental ao marinho raso têm sido consideradas para essa unidade (Rollins, 1965).

Acima da Formação Palanz foi depositada concordantemente o Grupo Yuruma, que está composto na base pela Formação Moina e no topo pela Formação Yuruma superior. A Formação Moina se compõe na base por níveis de rochas carbonáticas com fósseis e folhelhos margosos seguidos de margas e rochas carbonáticas margosas. Na parte superior se exibem camadas de carbonatos massivos, além de lamitos intercalados. Um ambiente de praia perto da costa tem sido considerado para essa unidade (Rollins, 1965).

O Grupo Cogollo foi depositado concordantemente sobre o Grupo Yuruma e é sobreposto pela Formação La Luna. Esse Grupo está formado pela Formação Cogollo inferior na base e a Formação Maraca no topo. Litologicamente está composta por folhelhos e lamitos carbonáticos de cor cinza e com intercalações de rochas carbonáticas *finas*, massivas, densas e sem cor o de cor cinza azulado. A

Formação Cogollo inferior se depositou em um ambiente marinho profundo durante o Aptiano (Rollins, 1965). La Formación Maraca sobrepõe concordantemente a Formación Cogollo inferior e está composta principalmente por rochas carbonáticas fossilíferas massivas de cor marrom escuro ao preto, intercaladas ocasionalmente com lentes de lamitos/folhelhos. Essa unidade foi depositada em águas rasas durante o Albiano-Cenomaniano (Rollins, 1965).

A Formación La Luna está depositada concordantemente sobre o Grupo Cogollo e está justaposta pela Formación Guaralamai. Litologicamente é composta por rochas carbonáticas com foraminíferos pretos, orgânicos, folhelhos, chert preto e concreções discoidais compostas por rocha carbonáticas microcristalina densa. As rochas carbonáticas são finamente estratificadas, laminadas, bituminosas, densas, piríticas e finamente cristalinas. O ambiente deposicional teve lugar em um mar restrito com baixo oxigênio (Rollins, 1965).

O registro Cretáceo termina com a Formación Guaralamai, que está sobreposta em discordância angular pela Formación Macarao de idade Eoceno e em outros lugares está coberta pela Formación Siamaná de idade Oligoceno. A Formación Guaralamai é caracterizada por uma considerável espessura de rochas carbonáticas intercaladas com folhelhos/lamitos carbonáticos. As rochas carbonáticas são físseis, siltosas, levemente estratificadas e fracas. Essa unidade foi depositada em condições marinhas rasas (Rollins, 1965).

Na Bacia da Guajira Alta é caracterizado por uma sucessão sedimentar que recobre o embasamento cristalino, iniciando a sedimentação no triássico e estendendo-se até os dias atuais (Figura 4) (Rollins, 1965). A sucessão sedimentar é caracterizada por unidades separadas por 4 discordâncias regionais: (1) ao norte da Bacia da Guajira Alta sedimentos de idade Jurássica repousam discordantes sobre conglomerados e arenitos do Triássico; (2) folhelhos Cretáceos repousam de maneira discordante sobre as unidades Jurássicas; (3) uma discordância que representa um intervalo grande de não deposição desde o Cretácico superior até o Eoceno; (4) Depósitos do Oligoceno (Formação Siamaná) repousam discordantemente sobre camadas da Formación Macarao do Eoceno. Essa última discordância separa rochas metamórficas e sedimentares deformadas as unidades pos-Eocenas sem deformação (Renz, 1960; Rollins, 1965; Lockwood, 1965).

GEOCRONOLOGIA			FORMAÇÕES			
Período	Época	Idade				
Q	Pleistoceno					
NEÓGENO	Plioceno	NEO	Piacenziano	Castilletes		
		EO	Zancleano			
	Mioceno	NEO	Messiniano			
		NEO	Tortoniano			
		MESO	Serravalliano			
		EO	Langhiano			
		EO	Burdigaliano			
		EO	Aqitaniano			
	PALEÓGENO	Oligoceno	NEO		Chattiano	Siamana
			EO		Rupeliano	
Eoceno		NEO	Priaboniano	Macarao		
		MESO	Bartoniano			
		MESO	Luteniano			
		EO	Ypresiano			
Paleoceno		NEO	Thanetiano			
		MESO	Selandiano			
		EO	Daniano			
CRETÁCICO		NEO	Maastrichtiano	Guaralamai		
	Campaniano					
	Santoniano					
	Coniaciano					
	Turoniano					
	Cenomaniano					
	EO	Albiano	Grupo Cogollo	Maraca		
		Aptiano		Cogollo Inferior		
		Barremiano	G. Yuruma	Yuruma superior		
		Hauteriviano		Moina		
Valanginiano		Palanz				
Berriasiano						
JURÁSSICO	NEO	Tithoniano	Grupo Cocinas	Cuisa shale		
		Kimmeridgiano				
	MESO	Oxfordiano		Chinapa		
		Calloviano		Caju		
	EO	Bathoniano		Cheterlo		
		Bajociano				
		Acheliano				
		Toarciano				
		Pliensbachiano				
		Sinemuriano				
TRIÁSSICO	NEO	Rhaetiano	Uitpana			
		Noriano				
	MESO	Carniano				
		Ladiniano				
		Anisiano				
		EO		Olenekiano		
		Induano	Rancho Grande			
PZ			Embasamento			

Figura 8. Coluna estratigráfica geral da Guajira Alta (Modificada de Rollins, 1965)

A estratigrafia Cenozoica na Guajira Alta foi descrita originalmente por Renz (1960) e redefinida por Rollins (1965). As unidades cenozoicas afloram em as bordas das serranias e nas bacias Cenozoicas (figura 9) e são descritas na seguinte tabela. O enfoque do trabalho está no Oligoceno superior e Mioceno Inferior, que corresponde à Formação Uitpa é à porção superior da Formação Siamaná.

Formação	Idade	Descrição	Ambiente Deposição	Afloramentos
Castilletes	Plioceno - Pleistoceno	É dividida em duas: uma inferior com abundância de rochas carbonáticas margosas, arenosas e fossilíferas de cor cinza; e uma superior com predomínio de siltitos com alguns níveis arenosos, de cores marrons ao amarelo e cinza verdoso.	Marinho raso	Leste da Guajira Alta na bacia de Cosinetas
Jimol	Mioceno medio	Rochas carbonáticas arenosas e arenitos carbonáticos intercalados com rochas carbonáticas e lamitos. As rochas carbonáticas são massivas, resistentes, muito arenosas e de cor laranja/amarelo, as camadas meteorizadas mostram uma cor marrom escuro. As rochas carbonáticas arenosas passam lateralmente aos arenitos carbonáticos de cor cinza ao marrom, tamanho de grão meio ao grosso e com fragmentos disseminados de quartzo brancos, na base da unidade arenitos massivos.	Marinho raso	Restrita ao centro da bacia de Cosinetas
Uitpa	Oligoceno - Mioceno inferior	Folhelhos/lamitos intercalados com camadas de rochas carbonáticas arenosas e arenitos fossilíferos e intercalados com camadas de rochas carbonáticas arenosas e arenitos fossilíferos e argilosos. Os folhelhos são de cor marrom escuro, os arenitos carbonáticos são finogranulares e são abundantes á base da unidade.	Marinho profundo	Aflora nas bordas das serranias Macuira, Jarara e Cosinas
Siamaná	Oligoceno	Conglomerado polimítico margoso na base, seguido por rochas carbonáticas arenosas fossilíferas, intercaladas com lamitos e folhelhos com abundantes bivalves e gastrópodes, as rochas carbonáticas são de cor amarelo/laranja e os lamitos e folhelhos são de cor cinza. Localmente, camadas finas de arenitos carbonáticos ou argilosos de grão fino ao grosso estão presentes, em alguns níveis superiores é comum o desenvolvimento de rochas carbonáticas de recifes de coral.	Marinho raso	Aflora rodeando as serranias de Macuira e Jarara, e ao norte da serra de Cosinas
Macarao	Eoceno superior	Sequência de arenitos glauconíticos micáceos intercalados com lamitos e rochas fossilíferas massivas e densas, os arenitos são finogranulares e de cor verde/marrom escuro.	Marinho raso	Leste da Serrania de Cosinas, nas pequenas depressões topográficas ao nordeste da Flor da Guajira

Figura 9. Unidades Cenozoicas presentes na Bacia da Guajira Alta.

Potenciais rochas reservatórios têm sido reconhecidas na Bacia da Guajira incluindo o Cretáceo (Formação La Luna) e o Terciário (Formações Siamaná, Uitpa, Jimol e Castilletes) (Figura 4). A Formação Siamaná do Oligoceno é principalmente composta por arenitos quartzosos, lamitos, arenitos carbonáticos e rochas carbonáticas com fácies de recife que afloram nas serranias de Cosinas e Jarara. As Formações Uitpa e Jimol do Mioceno inferior são os principais reservatórios nos campos de gás na Guajira Baixa e correspondem a arenitos carbonáticos principalmente. Essas fácies carbonáticas mudam ao offshore e os depósitos se tornam mais profundos (depósitos turbidíticos). No último poço perfurado no offshore da Guajira Alta, o reservatório foram lamitos arenosos feldspáticos, arcoses líticas e argilitos arenosos do Oligoceno.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 21 de novembro de 2016.

À Helga Niño e colaboradores

Venho comunicar o recebimento do manuscrito listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. Uma nova versão é aguardada até o dia 28/11/2016.

Manuscrito 634: Análise sismoestratigráfica do Mioceno médio/inferior - Oligoceno superior em uma área da Guajira Alta na Bacia de Guajira, Colômbia. Autores: Helga Niño, Claiton Scherer & Juliano Kuchle.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
Editor Chefe

Pesquisas em Geociências
Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

5 ARTIGO SUBMETIDO

Análise sismoestratigráfica do Mioceno médio/inferior- Oligoceno superior em uma área da Guajira Alta na Bacia da Guajira, Colômbia

Seismic-stratigraphic analysis of the middle/lower Miocene - upper Oligocene in an área of the Upper Guajira Basin, Colombia

Helga NIÑO¹, Claiton SCHERER² & Juliano KUCHLE²

- (¹) Ecopetrol S.A, Vice-presidência de Exploração, Gerencia Offshore Colômbia, Bogotá. E-mail: helga.nino@ecopetrol.com.co.
- (²) Programa de Geologia do Petróleo, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: claiton.scherer@ufrgs.br, juliano.kuchle@ufrgs.br.

Resumo. O Caribe Colombiano é o foco da exploração na Colômbia, e a Bacia da Guajira na sua parte offshore tem sido relativamente pouco explorada. O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo sísmico de alta resolução aplicável á áreas sem exploração em blocos novos ou para ter diferentes perspectivas em blocos já explorados, neste caso para o intervalo de tempo compreendido entre o limite do Mioceno médio-inferior e o Oligoceno superior, em uma área da Guajira Alta. A partir da integração de duas seções sísmicas 2D, associadas a seis poços com litologias definidas por amostras de calha, foi realizada: (1) uma análise sismoestratigráfica de alta resolução incluindo a interpretação das terminações dos refletores, definição das unidades sismoestratigráficas e superfícies chave, (2) identificação das sismofácies, (3) a elaboração de uma carta cronoestratigráfica. Como resultado, foram individualizadas cinco unidades sísmicas, seis sismofácies e a carta de eventos. Todas as unidades sísmicas identificadas correspondem com depósitos de gravidade tipo fluxo de detritos e turbiditos, e depósitos hemipelágicos. As sismofácies caracterizadas como turbiditos (refletores paralelos, subparalelos, *hummocky*), são geralmente calcáreas, as sismofácies de fluxo de detritos (refletores caóticos), têm mistura de litologias tipo folhelhos, siltitos, lamitos, arenitos e carbonatos, e as sismofácies definidas como depósitos hemipelágicos (refletores paralelos, subparalelos), correspondem em sua maioria com depósitos finos. Na carta cronoestratigráfica indica uma deposição contínua em esse intervalo de tempo.

Palavras-chave. Bacia da Guajira, exploração, alta resolução, análise sismoestratigráfica, sismofácies.

Abstract. Colombia Caribbean province is an important hydrocarbon exploration target in Colombia, a Guajira Offshore Basin as part of this province and is a frontier basin today. Main objective of this study is to develop a high resolution seismic stratigraphic study to be applied to unexplored areas on new blocks and/or to have another interpretation in low explored areas, in this case, on the specific time interval upper Oligocene-middle-lower Miocene, selecting a study area in Upper Guajira offshore. Data integration of two

seismic sections and lithologic logs from six wells obtained from cuttings made possible to interpret: 1) High resolution seismic stratigraphic analysis including seismic stratigraphic units and key surfaces definition, seismic reflectors pinch outs, 2) seismic facies definition and 3) chronostratigraphic chart. From this analysis were established five seismic units, six seismic facies and a chronostratigraphic events chart. All interpreted seismic units correspond to gravity flow deposits debris and turbiditic type and hemipelagic deposits. Turbidite type seismic facies (parallel, subparallel and *hummocky* reflectors), are usually calcareous in composition, as well as detrital fluxes (chaotical reflectors), are generally a mixture of sandstones, limestones, siltstones, mudstones and shales, and hemipelagic seismic facies (parallel to subparallel reflectors) correspond to thin bedded deposits usually silty and muddy. Chronostratigraphic chart events indicates continuous deposition in this time interval.

Keyword. Guajira Basin, exploration, high resolution, seismic stratigraphic analysis, seismic facies.

1 Introdução

A exploração petrolífera na Guajira começou nos finais dos anos quarenta com a perfuração da empresa Shell dos poços Ranchería-1 y 2, localizados perto do município do Riohacha (Guajira Baixa) . Nos anos 70 a Texaco fez a descoberta dos campos Ballena (~1200GPCG), Chuchupa (~5700GPCG), e Riohacha (100GPCG), na Guajira Baixa. Na Guajira Alta a Mobil fez a perfuração do poço Santa Ana-1(400GPCG – 15MPCGD), mas foi considerado como não comercial. No ano 2014 Ecopetrol S.A., Petrobras e Repsol fizeram o descobrimento do poço Orca-1 no offshore da Guajira Alta. O poço Orca-1 é considerado um poço A3 (exploratório). Na atualidade a Bacia da Guajira é o foco da exploração na Colômbia e tem aproximadamente 41 blocos, dos quais 12 são *onshore* e 29 *offshore*. Desses blocos, dez (10) estão em exploração, sete (7) em avaliação técnica, doze (12) disponíveis e só um (1) em produção.

A Bacia da Guajira é considerada uma bacia fronteira, o que significa que é uma bacia inexplorada ou em uma etapa primária de exploração, e que a geologia ainda não é entendida completamente. Por conseguinte, diversos autores têm feitos muitos trabalhos de pesquisa (tanto no *onshore*, quanto no *offshore*) com o fim de compreender a configuração da bacia e sua evolução (e.g. Renz, 1960; Lockwood, 1965; Rollins, 1965; Cardona, 2006, 2007; Ramírez, 2015). Esses trabalhos são frequentemente em uma escala regional e portanto não envolvem uma análise sismoestratigráfica detalhada dos intervalos de tempo estudados. Em decorrência disso o principal objetivo deste trabalho consistiu em gerar um modelo estratigráfico através da aplicação dos conceitos da sismoestratigrafia, a interpretação das

unidades sísmicas e suas sismofácies contituíntes correspondente ao intervalo de tempo compreendido entre o limite Mioceno médio-inferior e o Oligoceno superior, e sua distribuição na área da Guajira Alta.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Geologia regional

O Offshore do Caribe Colombiano está no limite atual entre as placas Sul-Americana e Caribe (Fig. 1), onde se geraram distintas províncias estruturais devidas á ocorrência de vários eventos de deformação que converteram essa área em uma zona geologicamente complexa. Esta região apresenta diversos estilos estruturais como cinturões de cavalgamento e blocos rotacionados dominados por movimentos direcionais. Rubio *et al.* (2012).

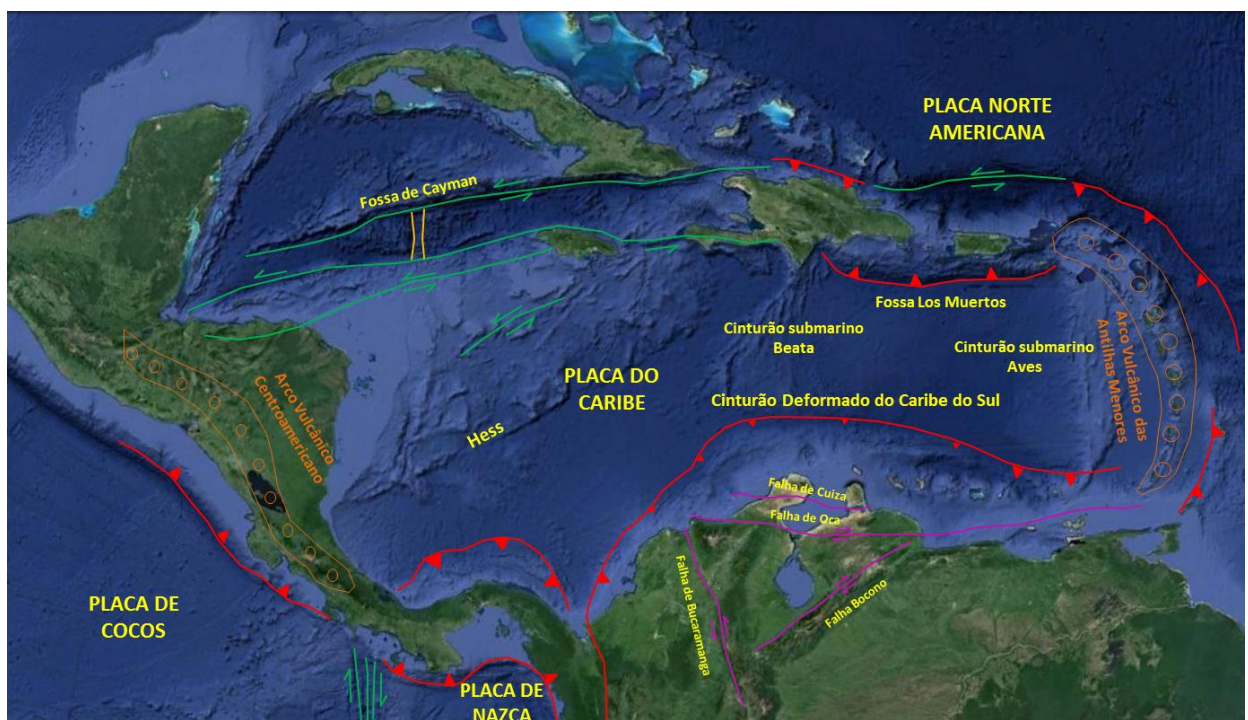


Figura 1. Configuração atual das placas Caribe, Sul-Americana, Nazca, Cocos y Norte-Americana e seus possíveis limites de placa (modificada de Rubio *et al.* 2012).

Figure 1. Current configuration of Caribbean, South American, Nazca and North American plates and their possible plate boundaries (modified from Rubio et al. 2012).

A Bacia da Guajira está localizada no Norte da Colômbia, no Mar do Caribe, e compreende uma área de aproximadamente 50.000 km². A bacia é limitada ao norte e noroeste pelo Cinturão Deformado do Sul do Caribe (CDSC), ao sul pela Falha de Oca e ao leste pela fronteira com a Venezuela. A Bacia da Guajira é dividida em duas bacias: Bacia da Guajira Alta e Bacia da Guajira Baixa, separadas pela Falha de Cuisa. A bacia da Guajira Alta tem três sub-bacias sedimentares terciárias: Chimare, Portete e Cosinetas, limitadas pelas serras Macuira, Cosinas e Jarara (Fig. 2A) Rubio *et al.* (2012).

A Península da Guajira é caracterizada por uma série de morros isolados de baixa altitude: Serrania de Cosinas, Serrania de Jarara e Serrania de Macuira e que são cercadas por antigas sub-bacias sedimentares do Cenozóico (Fig. 2B). A Serrania de Cosinas é uma anticlinal com vergência sudeste e direção geral aproximadamente leste-oeste. As rochas desta estrutura apresentam uma idade entre o Jurássico médio e Cretáceo superior. A Serrania de Jarara apresenta uma orientação geral NW-SE, constituída por um embasamento de gnaisse, xisto e granito micáceo de idade Permo-Triássica (Lockwood, 1965; Cardona *et al.*, 2006; Weber *et al.*, 2010), assim como uma série de unidades metassedimentares, a sudeste, e metavulcano-sedimentares, a noroeste, de idade Cretácea (formações Jarara e Etpana), cortada por rochas magmáticas de idade Eoceno. Cardona *et al.* (2007). Tal como a Serrania de Jarara, a Serrania de Macuira é um bloco com o embasamento Permo-Triássico cortado por granodioritos Jurássicos, Cardona & Molina *et al.* (2006) e com a mesma série de rochas metavulcano-sedimentares.

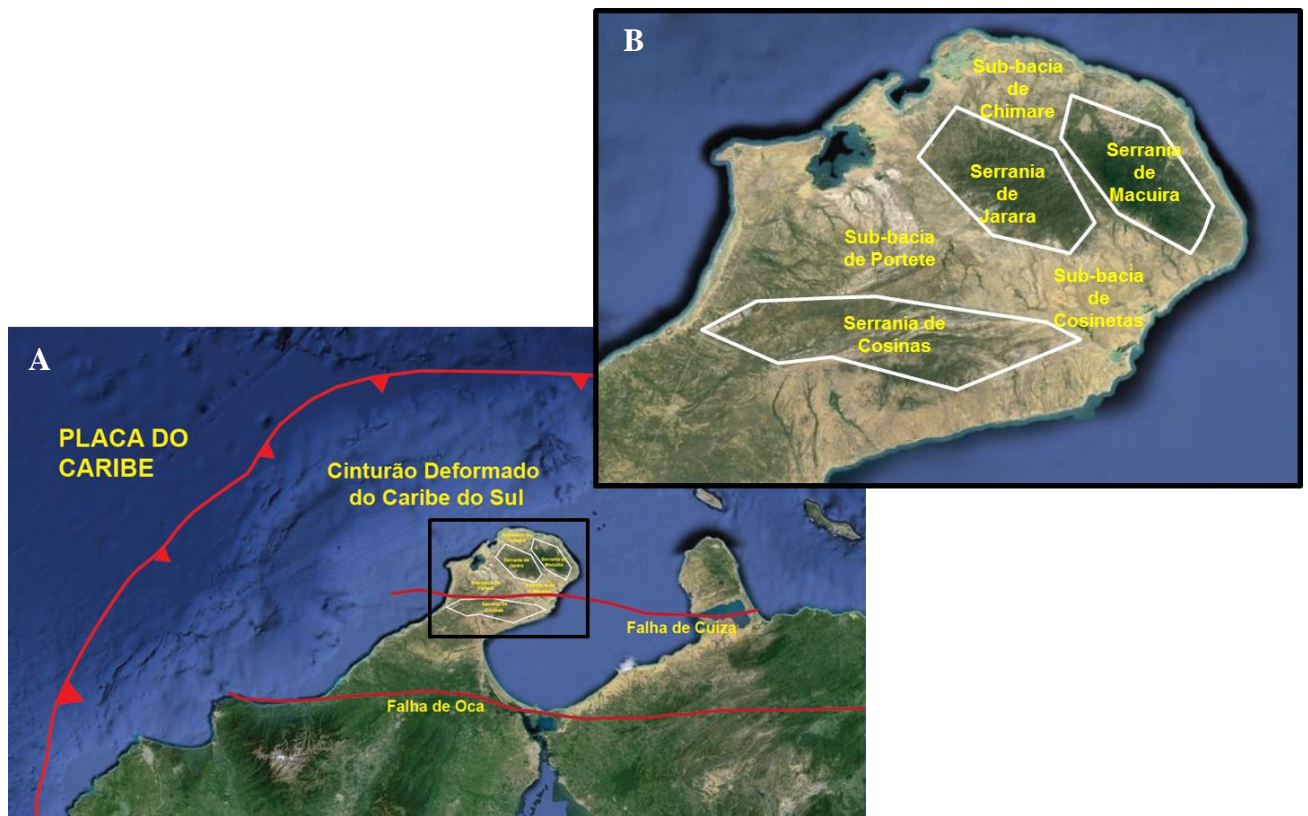


Figura 2. Mapa de Localização. A) Configuração Bacia da Guajira (modificada de Rubio *et al.* 2012). B) Localização das serranias de Macuira, Jarara e Cosinas e das sub-bacias Chimare, Portere e Cosinetas na Guajira Alta (modificada de Montes *et al.* 2011).

Figure 2. Location map. A) Configuration of Guajira Basin (modified from Rubio et al. 2012). B) Location of Macuira, Jarara and Cosinas mountain range and Chimare, Portere e Cosinetas sub-basins (modified from Montes et al. 2011).

Seis seqüências tectôno-sedimentares, que datam desde o Mesozoico até o Plioceno separadas por cinco discordâncias principais foram reconhecidas por Mantilla *et al.* (2013) (Fig 3). Essas seqüências refletem eventos tectônicos regionais e estão separadas em: (Fig. 3A) Jurásico - Cretáceo Inferior (abertura do proto-Caribe), (Fig. 3B) deposição sedimentar em margem passiva durante o Cretáceo Superior, (Fig. 3C) interação das placas Caribe e Sul Americana no Caribe Colombiano durante o Cretácico Superior – Paleoceno com acreção de rochas oceânicas, (Fig. 3D) evento de deformação do Eoceno Superior – Oligoceno Inferior, (Fig. 3E) mudanças eustáticas que geraram uma paraconformidade durante o Oligoceno Superior – Mioceno Inferior, e (Fig. 3F) evento de deformação durante o Mioceno Superior – Plioceno. Algumas dessas seqüências foram previamente documentadas por outros autores Eva *et al.* (1989) nas bacias de Falcon e Maracaibo, sugerindo controles tectônicos regionais nos eventos deposicionais e estruturais. Ramirez *et al.* (2015).

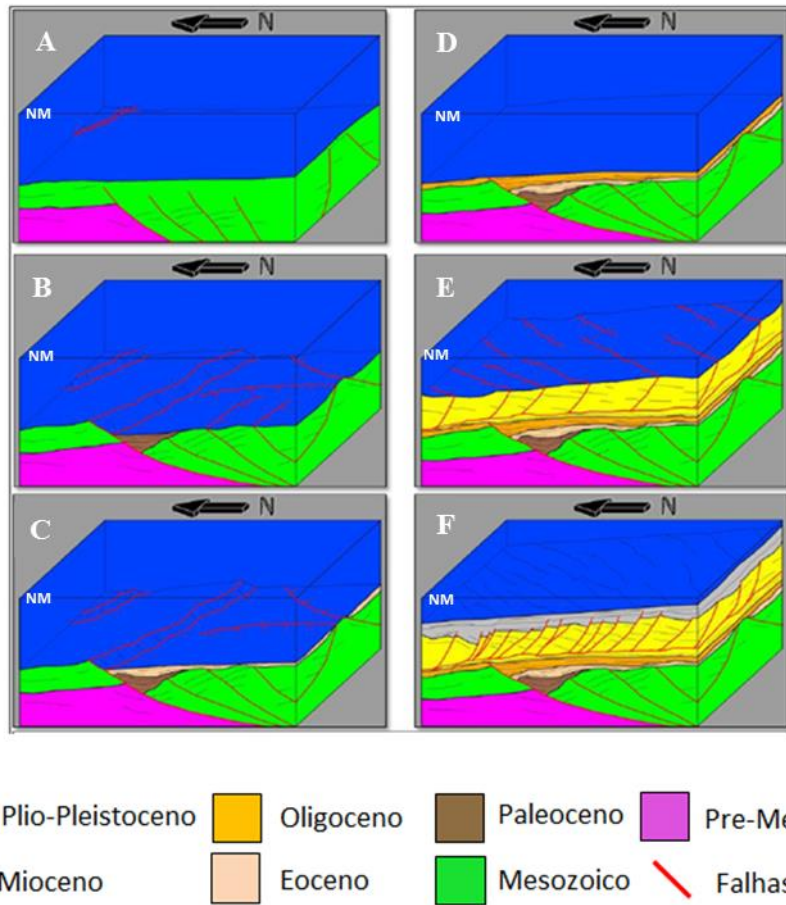


Figura 3. Evolução tectonoestratigráfica da Bacia da Guajira. 3A) abertura do proto-Caribe. 3B) deposição sedimentar em margem passiva. 3C) interação das placas Caribe e Sul Americana. 3D) evento de deformação. 3E) mudanças eustáticas. 3F) evento de deformação (modificado de Mantilla et al. (2013).

Figure 3. Tectonostratigraphic evolution of Guajira Basin. 3A) proto-Caribe opening. 3B) passive margin deposition. 3C) Caribbean and South American plates interactions. 3D) deformation event. 3E) eustatic changes. 3F) deformation event (modified from Mantilla et al. (2013).

A Bacia da Guajira Alta é caracterizada por uma sucessão sedimentar que recobre o embasamento cristalino, iniciando a sedimentação no Triássico e estendendo-se até os dias atuais (Fig. 4), conforme Rollins (1965). A sucessão sedimentar é caracterizada por unidades separadas por discordâncias regionais: ao norte da Bacia da Guajira Alta sedimentos de idade Jurássica repousam discordantes sobre conglomerados e arenitos do Triássico; folhelhos Cretáceos repousam de maneira discordante sobre as unidades Jurássicas; Depósitos do

Oligoceno (Formação Siamaná) repousam discordantemente sobre camadas da Formação Macarao do Eoceno. Essa discordância separa rochas metamórficas e sedimentares deformadas das unidades pos-Eocenas sem deformação (Renz, 1960; Rollins, 1965; Lockwood, 1965). O ultimo evento de deformação evidente na área é o gerado pela discordância angular entre rochas do Mioceno e rochas do Plioceno que obedece a outro pulso da aproximação da Placa do Caribe em relação à Placa Sul Americana. Escalona & Mann (2011).

GEOCRONOLOGIA			FORMAÇÕES			
Período	Época	Idade				
NEÓGENO	Pleistoceno			Castilletes		
	Plioceno	NEO	Piacenziano			
		EO	Zancleano			
	Mioceno	NEO	Messiniano			
		NEO	Tortoniano			
		MESO	Serravalliano			
		MESO	Langhiano			
		EO	Burdigaliano			
	PALEÓGENO	Oligoceno	EO		Aquitano	Jimol
			NEO		Chatiano	Uitpa
		Eoceno	EO		Rupeliano	Siamana
NEO			Priaboniano	Macarao		
MESO			Bartoniano			
EO			Luteniano			
EO			Ypresiano			
NEO			Thanetiano			
MESO			Selandiano			
EO			Daniano			
CRETÁCICO	NEO	Maastrichtiano	Guaralamai			
		Campaniano	La Luna			
		Santoniano				
		Coniaciano				
		Turoniano				
		Cenomaniano				
		EO	Albiano	Grupo Cogollo	Maraca	
			Aptiano		Cogollo Inferior	
		JURÁSICO	MESO	Barremiano	G. Yuruma	Yuruma superior
				Hauteriviano		Moina
Valanginiano	Palanz					
Berriasiano	Cuisa shale					
Tithoniano	Chinapa					
TRIÁSSICO	MESO	Kimmeridgiano	Grupo Cocinas	Caju		
		Oxfordiano		Cheterlo		
		Calloviano				
		Bathoniano				
		Bajociano				
		Aeliiano				
		Toarciano				
		Pliensbachiano				
		Sinemuriano				
		Triangiano				
Rhaetiano	Uitpana					
PZ	EO	Norian	Rancho Grande			
		Carniano				
		Ladiniano				
		Anisiano				
PZ	EO	Olenekiano	Embasamento			
		Induano				

Figura 4. Coluna estratigráfica geral da Guajira Alta (modificada de Rollins, 1965). O intervalo de estudo é delimitado no quadro de cor vermelho.

Figure 4. Stratigraphic column of Guajira Basin (modified from Rollins, 1965). The study interval is delimited by the red box.

A estratigrafia Cenozóica na Guajira Alta foi descrita originalmente por Renz (1960) e redefinida por Rollins (1965). As unidades Cenozóicas afloram nas bordas das serranias e nas bacias Cenozoicas (Fig. 2) e são descritas na tabela 1. O enfoque do trabalho é no Oligoceno Superior e Mioceno Inferior, que correspondem à Formação Uitpa e à porção superior da Formação Siamaná.

Tabela 1. Unidades Cenozóicas presentes na Bacia da Guajira Alta, Rollins (1965). O intervalo de estudo compreende a seção superior da Formação Siamaná, a totalidade da Formação Uitpa e parte baixa da Formação Jimol.

Table 1. Cenozoic units in Guajira Basin, Rollins (1965). The interval of interest involves the upper section of the Siamana Formation, the entire Uitpa Formation and lower part of the Jimol Formation.

Formação	Idade	Descrição	Ambiente Deposição	Afloramentos
Castilletes	Plioceno - Pleistoceno	É dividida em duas: uma inferior com abundância de rochas carbonáticas margosas, arenosas e fossilíferas de cor cinza; e uma superior com predomínio de siltitos com alguns níveis arenosos, de cores marrons ao amarelo e cinza verdoso.	Marinho raso	Leste da Guajira Alta na bacia de Cosinetas
Jimol	Mioceno medio	Rochas carbonáticas arenosas e arenitos carbonáticos intercalados com rochas carbonáticas e lamitos. As rochas carbonáticas são massivas, resistentes, muito arenosas e de cor laranja/amarelo, as camadas meteorizadas mostram uma cor marrom escuro. As rochas carbonáticas arenosas passam lateralmente aos arenitos carbonáticos de cor cinza ao marrom, tamanho de grão meio ao grosso e com fragmentos disseminados de quartzo brancos, na base da unidade arenitos massivos.	Marinho raso	Restrita ao centro da bacia de Cosinetas
Uitpa	Oligoceno - Mioceno inferior	Folhelhos/lamitos intercalados com camadas de rochas carbonáticas arenosas e arenitos fossilíferos e intercalados com camadas de rochas carbonáticas arenosas e arenitos fossilíferos e argilosos. Os folhelhos são de cor marrom escuro, os arenitos carbonáticos são finogranulares e são abundantes á base da unidade.	Marinho profundo	Aflora nas bordas das serranias Macuira, Jarara e Cosinas
Siamaná	Oligoceno	Conglomerado polimítico margoso na base, seguido por rochas carbonáticas arenosas fossilíferas, intercaladas com lamitos e folhelhos com abundantes bivalves e gastrópodes, as rochas carbonáticas são de cor amarelo/laranja e os lamitos e folhelhos são de cor cinza. Localmente, camadas finas de arenitos carbonáticos ou argilosos de grão fino ao grosso estão presentes, em alguns níveis superiores é comum o desenvolvimento de rochas carbonáticas de recifes de coral.	Marinho raso	Aflora rodeando as serranias de Macuira e Jarara, e ao norte da serrania de Cosinas
Macarao	Eoceno superior	Sequência de arenitos glauconíticos micáceos intercalados com lamitos e rochas fossilíferas massivas e densas, os arenitos são finogranulares e de cor verde/marrom escuro.	Marinho raso	Leste da Serrania de Cosinas, nas pequenas depressões topográficas ao nordeste da Flor da Guajira

Várias ocorrências de hidrocarbonetos têm sido reconhecidas na Bacia da Guajira incluindo campos de gás na Guajira Baixa (Campos Chuchupa, Ballena e Riohacha), descobertas não comerciais na Guajira Alta (poço Santa Ana-1) e na Guajira Baixa (poços Aruchara-1 e Calamar-1), anomalias geoquímicas e amostras de *piston coring* Ramírez *et al.* (2015).

A origem dos hidrocarbonetos na Bacia da Guajira tem sido considerada como resultado de um único sistema petrolífero biogênico (Rice & Claypool, 1981; Katz & Williams, 2002). No entanto, Ramírez *et al.* (2002, 2003) e Ramírez (2006), propõem a presença de pelo menos 4 sistemas petrolíferos, alguns deles envolvendo processos termogênicos. Ramírez *et al.* (2015).

Potenciais rochas reservatórios têm sido reconhecidas na Bacia da Guajira incluindo o Cretáceo (Formação La Luna) e o Terciário (Formações Siamaná, Uitpa, Jimol e Castilletes – Fig. 4). A Formação Siamaná do Oligoceno é principalmente composta por arenitos quartzosos, lamitos, arenitos carbonáticos e rochas carbonáticas com fácies de recifes que afloram nas serranias de Cosinas e Jarara. As Formações Uitpa e Jimol do Mioceno Inferior são os principais reservatórios nos campos de gás na Guajira Baixa e correspondem

principalmente a arenitos carbonáticos. Essas fácies carbonáticas mudam ao offshore e os depósitos se tornam mais profundos (depósitos turbidíticos).

2.2 Materiais e métodos

Para realizar a análise sismoestratigráfica na área de interesse, inicialmente foram escolhidas 2 seções sísmicas compostas (Fig. 5A) (*strike & dip*) formadas por 6 linhas sísmicas 2D com o propósito de ter uma melhor cobertura regional da área de interesse. Uma vez interpretadas decidiu-se integrar os resultados de cada seção em uma única seção sísmica regional (Fig. 5B) e sobre esta seção composta final efetuar a metodologia da análise sismoestratigráfica. Além dos dados das linhas sísmicas 2D, foi utilizada a informação litológica das amostras de calha de 6 poços exploratórios incluídos nas linhas, e os perfis dos poços.

Foi realizada a interpretação dos refletores sísmicos e suas terminações seguindo os parâmetros de configuração dos padrões geométricos, amplitude, frequência e continuidade. A interpretação dos refletores sísmicos se baseia na reflexão sísmica. Estes podem ter terminações em *onlap*, *downlap*, *toplap* e truncamentos erosivos, que são os principais critérios para o reconhecimento das unidades sismoestratigráficas, Mitchum *et al.* (1977a).

A partir dos agrupamentos de terminações dos refletores sísmicos rastreáveis ao longo da seção, foram caracterizadas unidades sismoestratigráficas, que são conjuntos de estratos cronoestratigraficamente relacionados, com expressão sísmica, limitados no topo e na base por terminações de refletores Vail *et al.* (1977). As unidades sismoestratigráficas acabam por equiparar-se aos tratos de sistemas conforme definido por Brown & Fischer (1977), conjunto de estratos geneticamente relacionados, e que não necessariamente implica na ocorrência (nem exclusão) de discordâncias como superfícies limítrofes. Assim, as Unidades Sismoestratigráficas são unidades deposicionais relacionadas a um período de tempo específico e distinto das unidades abaixo e acima.

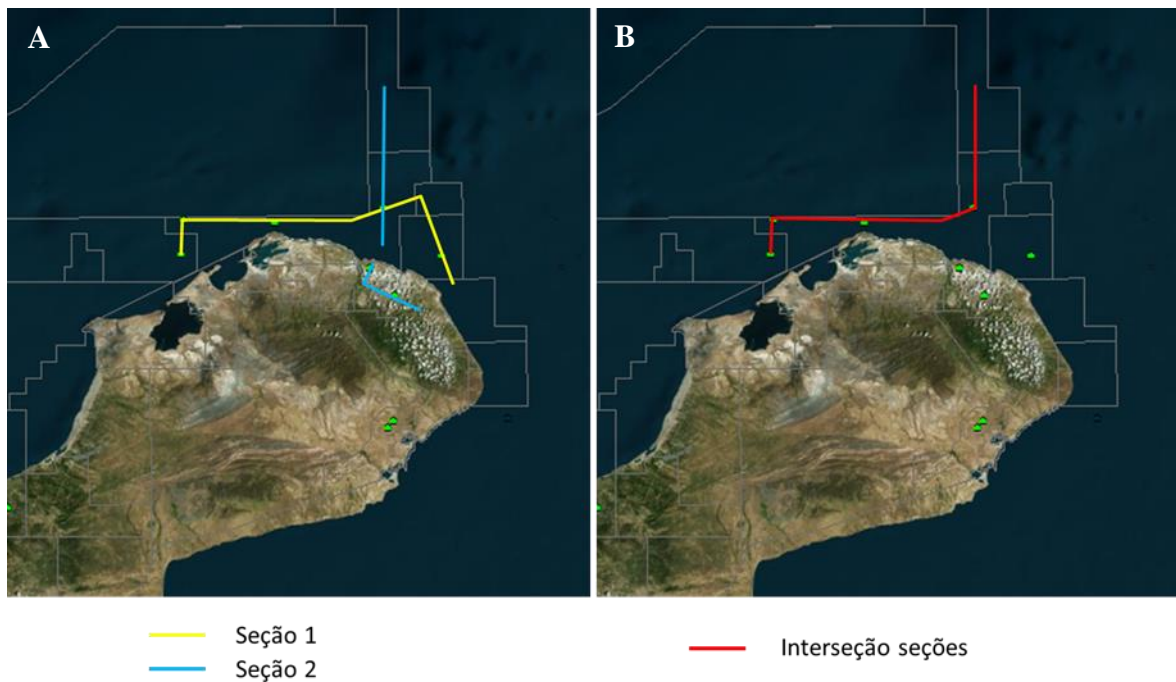


Figura 5. Mapa de localização das seções sísmicas. A) Localização da seção 1 e 2. B) Localização da seção composta.

Figure 5. Location map of seismic sections. A) Location map of sections 1 and 2. B) Location of the composite section.

Internamente, as unidades sísmicas podem ser constituídas por uma ou mais fácies sísmicas. Uma sismofácies, conforme Mitchum *et al.* (1977), apoiada nas publicações do Memoir 26 da AAPG de 1977 Payton (1977), corresponde a uma unidade tridimensional composta por reflexões sísmicas cuja configuração geométrica das reflexões, amplitude, continuidade, frequência, e intervalo da velocidade, diferem dos elementos das unidades adjacentes. A análise das fácies sísmicas contribui no entendimento dos aspectos deposicionais que geraram as reflexões sísmicas particulares de cada sismofácies identificada, sendo mais completa quando se têm dados adicionais como testemunhos, amostras de calha e perfis litológicos de poços.

A interpretação das fácies sísmicas foi definida pela configuração, continuidade, amplitude, frequência, intervalo da velocidade e forma do agrupamento das reflexões sísmicas. As sismofácies tentaram-se calibrar pelos dados fornecidos pelas amostras de calha dado que os poços não têm testemunhas, mas a informação é limitada.

Com base em as unidades sismoestratigráficas e as fácies sísmicas foi elaborada a carta cronoestratigráfica de eventos, conforme determinado inicialmente por Wheeler (1958) e adaptado para o contexto sísmico por Vail *et al.* (1977b). A geometria da unidade proporciona

o contexto paleogeomorfológico em que foi depositada e a disposição espacial das unidades mostra o arranjo arquitetural dos sistemas deposicionais durante o preenchimento da bacia, indicando os momentos de mudança na arquitetura da bacia (Kuchle & Scherer 2010).

3. Resultados

3.1 Interpretação dos Refletores

Para realizar a análise sismoestratigráfica na área de estudo, no início se definiram o topo e a base do intervalo de interesse que corresponde ao limite Mioceno médio–inferior (~15 Ma) e o Oligoceno superior (~26 Ma). Também foram caracterizadas as falhas regionais e as falhas menores (Fig. 6A, 6B e 6C). A análise sismoestratigráfica consistiu em demarcar todos os refletores e suas terminações, seguindo os parâmetros de configuração dos padrões geométricos, amplitude, continuidade e frequência. (Fig. 7A, 7B e 7C).

Devido à orientação da seção composta, quase a metade da seção é perpendicular ao aporte de sedimentos e, portanto a identificação das terminações dos refletores (*downlap*, *onlap*, *toplap*) tornou-se extremamente difícil (Fig. 5B). Os padrões dos refletores nessa parte da seção são principalmente paralelos e subparalelos, podendo-se reconhecer alguns *hummocky*, geralmente têm boa continuidade e a amplitude e frequência alternam entre baixa e alta, apresentando alguns setores com amplitudes maiores. Além disso, a presença de zonas de falhamento impede ou dificultam a demarcação dos refletores. De outra forma, no segmento da seção orientada no sentido do mergulho deposicional da bacia (*dip*), o reconhecimento das terminações dos refletores foi mais facilitado (*downlaps*, *onlaps*). Os padrões de refletores mais comuns foram os progradantes tipo *hummocky*, caóticos e paralelos, usualmente apresentam boa continuidade, mas com setores ligeiramente descontínuos. A amplitude e a frequência alternam entre alta e baixa.

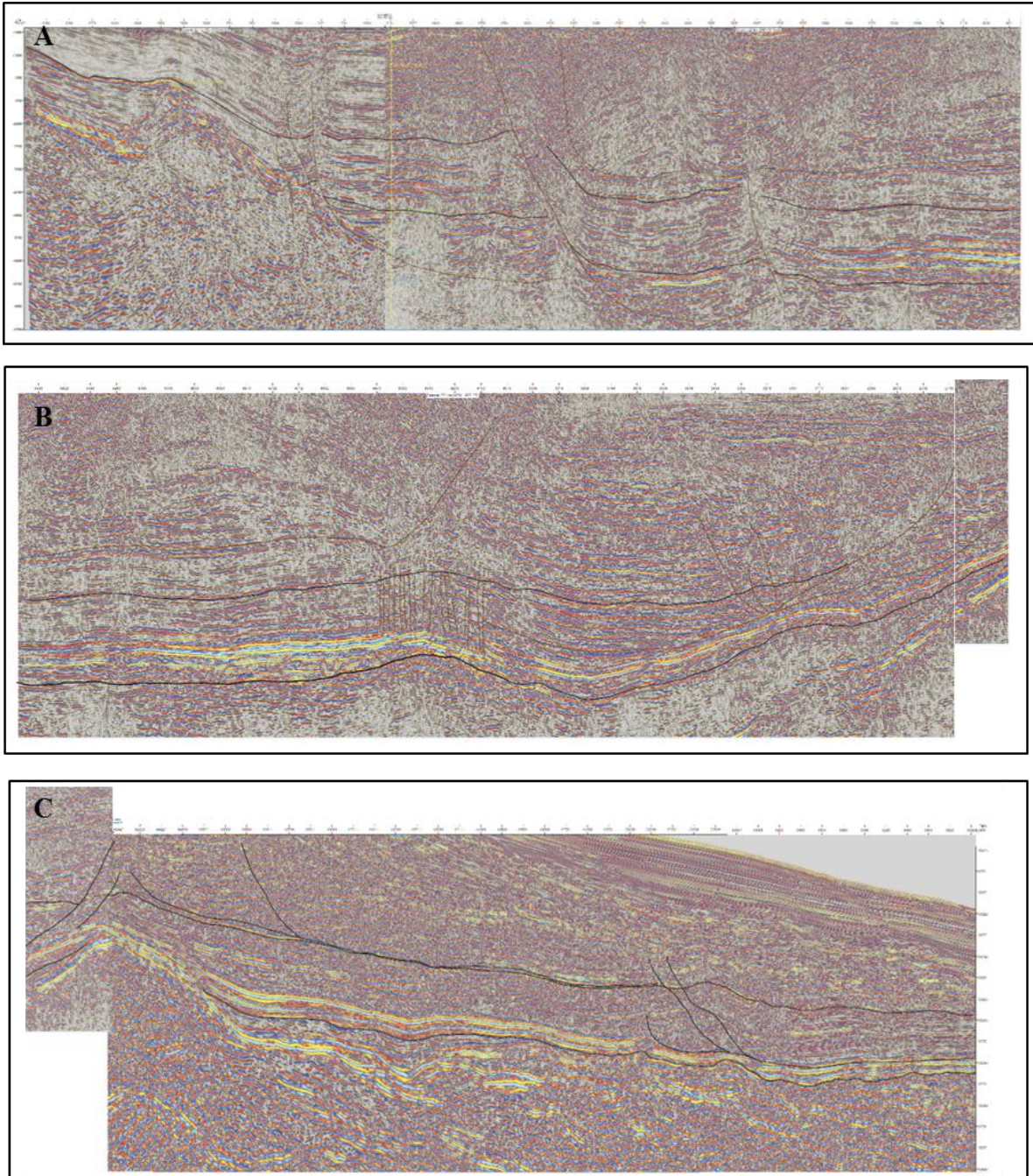


Figura 6. Seção sísmica com limites do intervalo de estudo. A) porção inicial da seção composta. B) porção média da seção composta. C) porção final da seção composta.

Figure 6. Seismic section showing the interval of interest. A) initial segment of the composite line. B) middle segment of the composite section. C) final segment of the composite section.

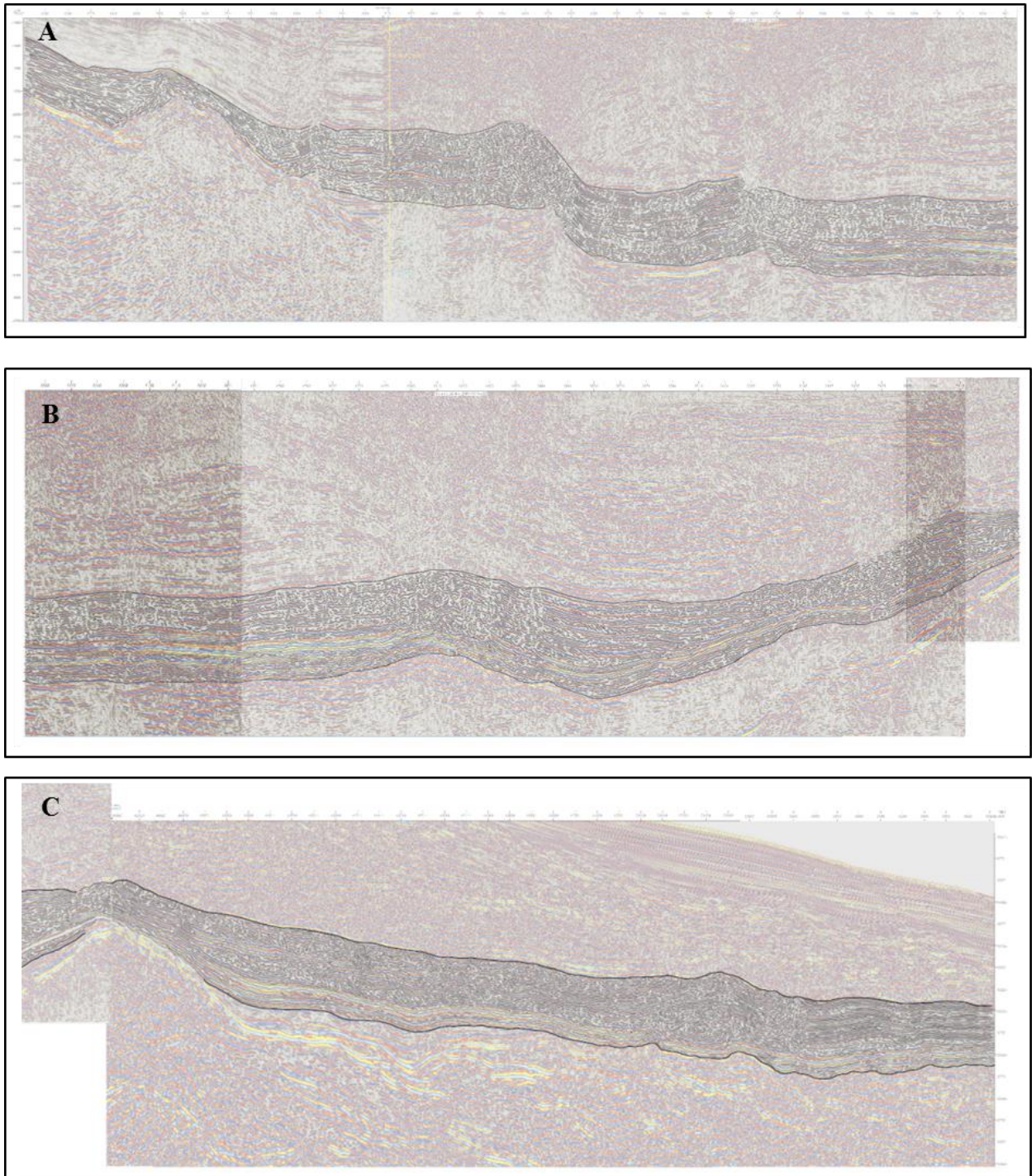


Figura 7. Sísmica com interpretação de refletores e suas terminações. A) porção inicial da seção composta. B) porção média da seção composta. C) porção final da seção composta.

Figure 7. Seismic section illustrating the interpreted reflectors and their terminations. A) initial segment of the composite line. B) middle segment of the composite section. C) final segment of the composite section.

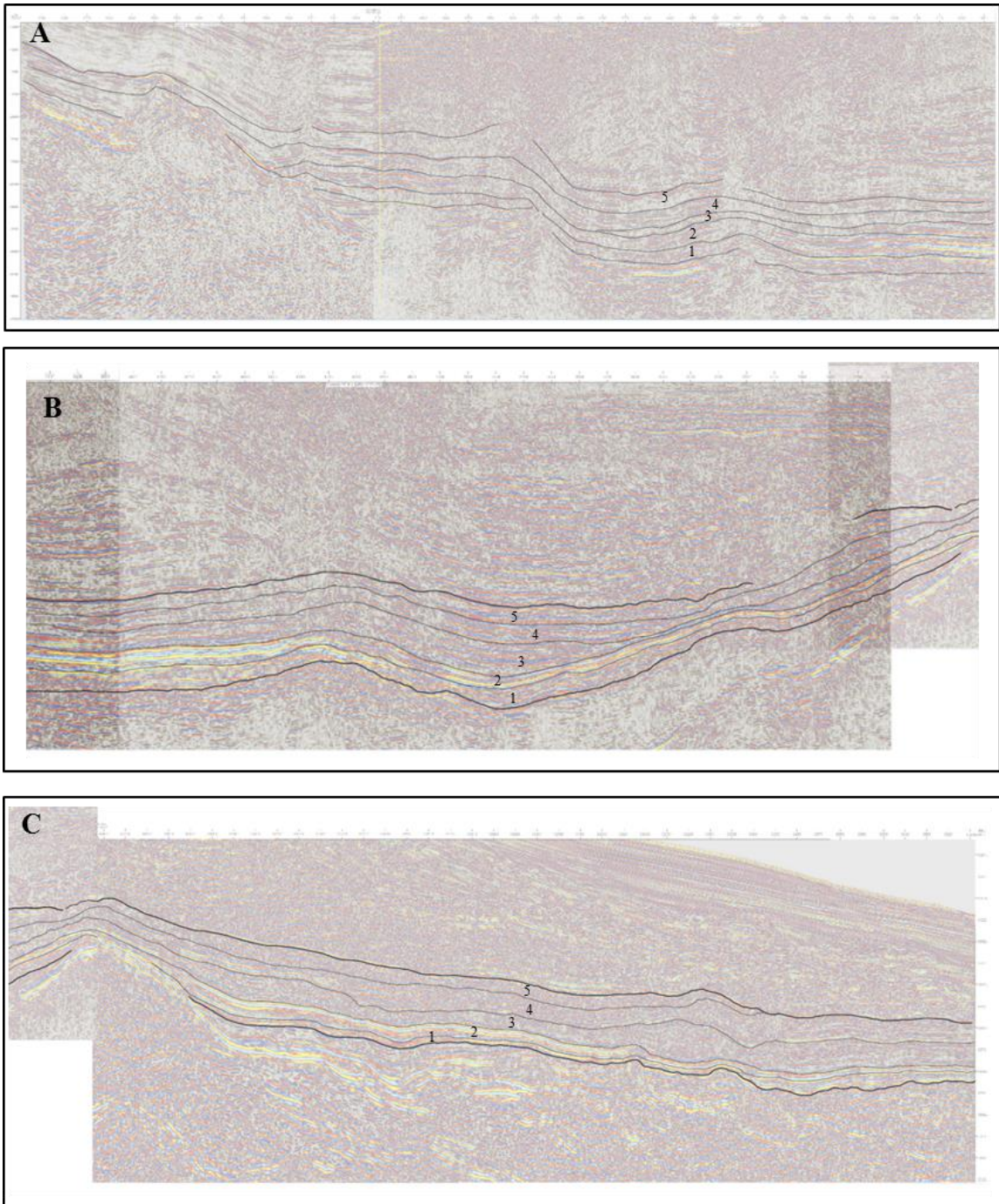


Figura 8. Sísmica com as unidades sismoestratigráficas definidas. A) porção inicial da seção composta. B) porção média da seção composta. C) porção final da seção composta.

Figure 8. Seismic section showing seismic stratigraphic units. A) initial segment of the composite line. B) middle segment of the composite section. C) final segment of the composite section.

3.2 Unidades Sismoestratigráficas

Uma sucessão de terminações de refletores ao longo de uma superfície define o limite de base ou de topo de uma unidade sismoestratigráfica. Foram assim definidas cinco unidades sismoestratigráficas, de base para o topo, denominadas US1 a US5 (Fig. 8A, 8B e 8C).

As unidades sismoestratigráficas inicialmente foram identificadas em 2 seções sísmicas e posteriormente integradas em uma única seção regional composta. A unidade sísmica US1 é limitada na base pelo refletor que equivale ao Oligoceno Superior (~26 Ma), e que corresponde a um evento de aumento do nível relativo do mar na bacia (López, 2015). O limite inferior da unidade é caracterizado na base por terminações em *downlap* ou *onlap* e no topo por terminações principalmente do tipo concordante. Internamente, a US1 é caracterizada por um padrão de refletores contínuos, paralelos e subparalelos. Na parte da interseção das 2 seções, que concorda com o Alto de Chimare perto do poço Chimare 2-1, a delimitação da base da unidade US1 fica truncada porque esse refletor do Oligoceno termina sobre os flancos do Alto de embasamento de Chimare o topo da unidade também acha-se truncado nos flancos do alto. A unidade sísmica US2 apresenta padrões de refletores que mudam de paralelos a *hummocky*, e a base e o topo mostram terminações concordantes. A unidade sísmica US3 é a unidades que apresentam mais variação de geometria nos refletores apresentando subparalelos, paralelos, *hummocky* e caóticos, esses últimos na parte da seção mais offshore A base esta unidade é definida por terminações em *downlap* na parte da seção mais *offshore* (mais profunda), e algumas terminações *onlap* na porção *strike* da seção. O topo da unidade é caracterizado por terminações concordantes. A unidade sísmica US4 exibe padrões de refletores subparalelos e paralelos e na direção do alto de Chimare está afetada por falhas que dificultam o seguimento dela, as terminações dos refletores sobre a unidade US3 são *onlaps* perto do alto do embasamento do Chimare e *downlaps* no restante da seção. A unidade US5 repousa paralelamente sobre a unidade US4 com padrão de refletores principalmente subparalelos e *hummocky*, mas nas porções da seção afetada por falhamento, os refletores parecem caóticos. Distinguiram-se terminações de *onlaps* e *downlaps* na base, e terminações concordantes no topo da unidade. Na parte mais *offshore* da seção, a US5 é termina sobre a unidade US4. O topo dessa unidade corresponde com o limite entre o Mioceno médio–superior (~15 Ma, de acordo com López *et al.* (2015).

3.3 Sismofácies

As fácies sísmicas são interpretadas para o conhecimento da litologia, estratificação e aspectos deposicionais que constituíram as reflexões dentro das unidades sísmicas, e fornecem uma variedade de informações úteis para determinação de análogos de rochas. Entretanto, já nos conceitos originais da sismofácies Mitchum *et al.* (1977b), não caberiam determinações específicas de litologias baseadas em sismofácies, e sim de “grupos litológicos” e “litologias dominantes”. Desta forma, não é possível determinar a ocorrência exclusiva de um arenito ou folhelho, e sim a dominância desta litologia neste intervalo, pois a escala da sismofácies é completamente incompatível com a escala de camada – como produto de um processo deposicional singular. Assim, a sismofácies é diretamente relacionada a um sistema deposicional, conforme observado por Brown & Fischer (1977), que certamente apresenta grupos litológicos dominantes, mas não excludentes na escala da camada. Atualmente, dependendo da resolução da sísmica e de sua análise, a sismofácies pode representar desde um único sistema deposicional, ou um conjunto de sistemas deposicionais relacionados (menos resolução), ou uma compartimentação de um sistema deposicional – subsistema ou elemento arquitetural (mais resolução), conforme Kuchle & Scherer (2010). Essa análise é mais eficiente quando há disponibilidade de perfis de poço e testemunhos para relacionar as sismofácies dentro de um contexto litológico de uma sequência deposicional. As sismofácies foram interpretadas com base na configuração geométrica das reflexões, amplitude, continuidade, frequência e intervalo de velocidade. As fácies sísmicas não têm obrigatoriamente um controle temporal e, portanto, podem ocorrer em diferentes unidades sísmicas.

É importante deixar claro que a orientação da linha sísmica em relação à deposição de sedimentos é crucial na definição das fácies sísmicas, tornando mais fácil identificar estas no sentido da deposição (*dip*) do que em sentido perpendicular à deposição (*strike*). Portanto, foram caracterizadas e definidas seis sismofácies, caracterizadas como SF1 a SF6 (Fig. 9A, 9B, 9C, 9D, 9E e 9F). Nas figuras 10A, 10B e 10C mostram-se a distribuição das sismofácies identificadas na seção composta, representadas por diferentes cores.

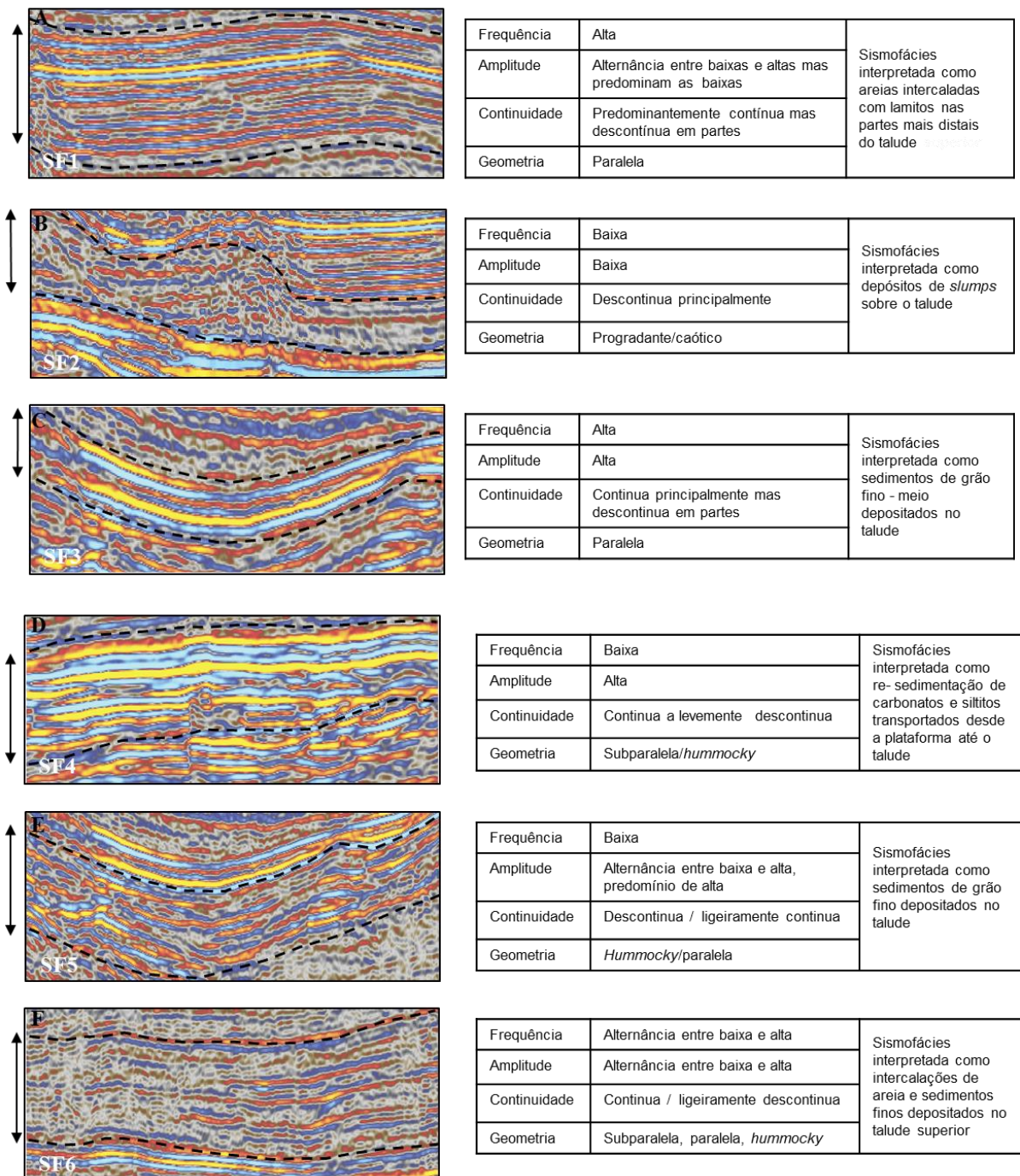


Figura 9. Sismofácies identificadas na seção composta. A) Sismofácies SF1. B) Sismofácies SF2. C) Sismofácies SF3. D) Sismofácies SF4. E) Sismofácies SF5. F) Sismofácies SF6.

Figure 9. Seismic facies identified in the seismic section. A) Seismic facies SF1. B) Seismic facies SF2. C) Seismic facies SF3. D) Seismic facies SF4. E) Seismic facies SF5. F) Seismic facies SF6.

As sismofácies SF1 e SF2 foram identificadas na parte da seção composta paralela à deposição, e desse modo, puderam ser descritas de uma maneira mais completa. Já as

sismofácies SF3 e SF4 foram reconhecidas tanto na parte da seção paralela à deposição como na perpendicular. No entanto, a SF3 está muito mais desenvolvida e aparece numa porção maior da seção que a SF4, que é restrita a alguns setores. Por fim, as sismofácies SF5 e SF6 ocorrem no segmento da seção perpendicular à deposição, dificultando a sua definição.

A sismofácies SF1 (cor vermelho) apresenta uma configuração de refletores paralela, predominantemente contínua, frequência alta, alternância de amplitude entre altas e baixas, sendo principalmente baixas. Esta sismofácies tem o seu maior desenvolvimento no setor do Alto de Chimare até a parte mais offshore da bacia, e ocorre nas unidades sismoestratigráficas US3, US4 e US5. Foi interpretada como areias intercaladas com sedimentos finos depositados no talude chegando até as partes mais distais onde os refletores são paralelos. Esta interpretação é corroborada pelas amostras de calha do poço Chimare 2-1, localizado no alto de Chimare, onde o intervalo corresponde a SF1 é constituído majoritariamente por sedimentos de grão fino (siltitos – argilas – lamitos – areia fina).

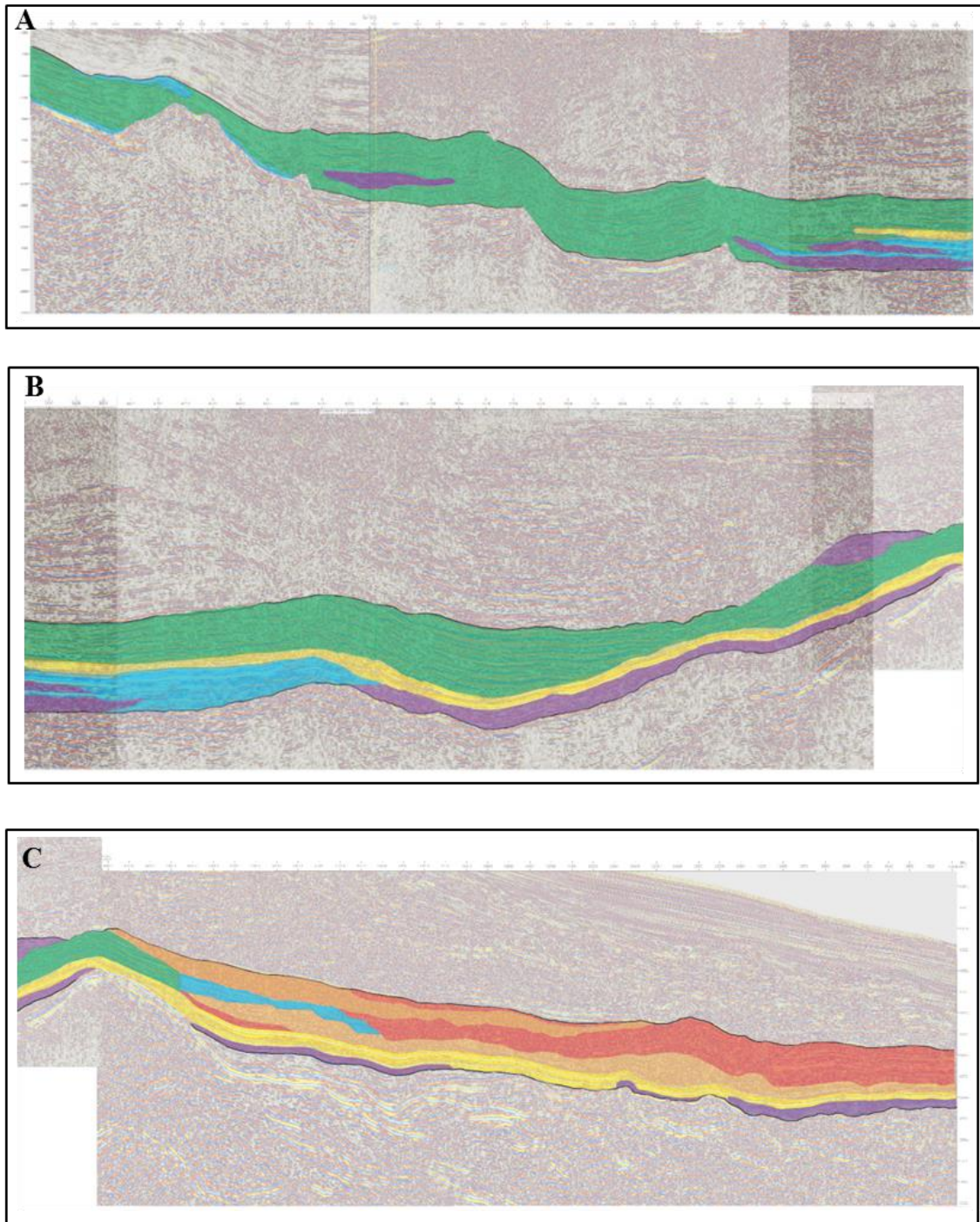


Figura 10. Sísmica com as sismofácies interpretadas. A) porção inicial da seção composta. B) porção média da seção composta. C) porção final da seção composta.

Figure 10. Seismic section illustrating the seismic facies interpreted. A) initial segment of the composite line. B) middle segment of the composite section. C) final segment of the composite section.

A sismofácies SF2 (cor laranja) é caracterizada por um padrão de refletores de configuração progradante, tipo oblíquo e *hummocky*, e configuração caótica, sem continuidade, baixa frequência e baixa amplitude. Nesta sismofácies a definição das terminações dos refletores foi muito mais confiável graças à orientação da seção permitindo fazer uma melhor caracterização dos corpos diferenciados. Esta sismofácies é restrita ao setor mais norte da seção composta, depois do Alto de Chimare, sendo interpretada como depósitos de *slumps* compostos possivelmente por mistura de sedimentos como areia e siltitos, lamitos e rochas carbonáticas. Esta sismofácies é encontrada principalmente na unidade US2. Também aparece em porções da unidade US5 e em menor proporção na unidade US3.

A sismofácies SF3 (cor amarelo) tem uma configuração de refletores paralela, principalmente contínua, (perdendo continuidade em zonas falhadas), alta amplitude e alta frequência. Esta sismofácies pode ser identificada por uma grande extensão na seção composta, incluindo a área do poço Punta Gallinas-1. É relevante que o poço Punta Gallinas-1 foi perfurado no ano de 1970 e as informações são escassas de maneira que mesmo a localização do poço é um pouco incerta. No entanto, realizou-se uma aproximação da localização do poço para tentar correlacionar a litologia descrita nas amostras de calha com a fácies sísmica. Desta forma, esta sismofácies na área do poço é representada por argilitos com glauconita, siltitos e intercalações de arenitos de grão fino com cimento carbonático e abundantes foraminíferos plantônicos, permitindo a sua interpretação como depósitos finos acumulados em um ambiente de talude superior. Esta sismofácies pode-se reconhecer principalmente nas unidades US2 e US1 e numa proporção menor na unidade US3.

Na sismofácies SF4 (cor azul), os refletores apresentam uma configuração subparalela e *hummocky*, boa continuidade, alta amplitude e baixa frequência. Esta sismofácies foi identificada particularmente no setor do poço Punta Gallinas-1, encontrando-se novamente no setor do poço Jarara-1 e também depois do Alto de Chimare, e ocorre nas unidades US1, US2 e US4. Em conformidade com os dados das amostras de calha do poço Punta Gallinas-1, a presença de rochas carbonáticas tipo packstone de algas vermelhas e foraminíferos plantônicos, intercaladas com argilitos com foraminíferos e arenitos com bioclastos, com indícios de exposição subaérea e grãos retrabalhados, sugerem o transporte e re-sedimentação de rochas depositadas em ambientes rasos na plataforma até ambientes mais profundos no talude. No poço Jarara-1, as amostras de calha também correspondem com rochas carbonáticas argilosas, o que respalda que essas amplitudes mais altas correspondem com sedimentos carbonáticos.

A sismofácies SF5 (cor roxo), apresenta uma configuração de refletores paralela e *hummocky*, descontínua a ligeiramente contínua, frequência baixa e amplitude alternando entre baixa e alta, com predomínio de alta. Ocorre desde o alto de Jarara até o alto de Chimare, mas não é constante em todo o trecho. Esta sismofácies aparece mais desenvolvida na unidade US1 e em segmentos das unidades US2 e US5. No poço San José-1 esta sismofácies corresponde a uma litologia dominante de arenitos com tamanho de grão que varia de fino a grosso, intercalado com folhelhos com cores cinzas-verdes-vermelhos. Estes sedimentos foram interpretados como depósitos de plataforma rasa. Esta mesma sismofácies reconhecida no poço Punta Gallinas-1 e caracterizada por argilitos com glauconita e foraminíferos, siltitos e arenitos interpretados como depósitos de talude superior. Do setor do Punta Gallinas até o Alto de Chimare esta sismofácies é contínua, mas acaba no Alto de Chimare, não sendo reconhecida na parte mais offshore da seção. Fazendo uma analogia com os outros setores onde ocorre, foi interpretada como intercalações de areias e sedimentos finos depositados no talude superior.

A sismofácies SF6 (cor verde), mostra uma configuração de refletores principalmente subparalela, paralela e *hummocky*, predominantemente contínua a ligeiramente descontínua em porções, com amplitude e frequência alternando entre baixa e alta. Esta sismofácies é a mais desenvolvida de todas as sismofácies identificadas, e aparece na maior parte da seção composta, estendendo-se desde o alto de Jarara até o alto de Chimare. A SF6 foi identificada em todas as unidades sismoestratigráficas US1, US2, US3, US4 e US5. A SF6 está afetada pelo forte falhamento em vários setores da seção, dificultando a identificação e demarcação dos refletores. Conforme os dados das amostras de calha dos poços Jarara-1, San José-1, Punta Gallinas-1 e Chimare-2-1, esta sismofácies corresponde principalmente a areias finas a grossas e intercalações de lamitos, argilitos, folhelhos, e subordinadamente rochas carbonáticas. A SF6 foi reconhecida exclusivamente na parte da seção perpendicular à deposição dos sedimentos dificultando a definição dos refletores e, além disso, está afetada por forte falhamento em algumas porções complicando ainda mais a demarcação dos refletores. Esta sismofácies foi interpretada como depósitos de plataforma que vão gradando para um ambiente mais profundo de talude superior – médio.

3.4 Carta Cronoestratigráfica

O procedimento de caracterização de unidades sismoestratigráficas, baseado nas terminações de refletores, permite a compartimentação de uma unidade de estudo em unidades menores internas. Esta compartimentação fornece um ordenamento temporal relativo que facilita a determinação de eventos que deixam de ocorrer ao longo da seção, que começam a ocorrer no meio da seção, ou que ocorrem sempre na seção. Da mesma forma, a caracterização das sismofácies fornece o preenchimento das unidades sismoestratigráficas. Este preenchimento é variável ao longo do espaço (no sentido bidimensional da seção), e no tempo (nas unidades sismoestratigráficas). Entretanto, a observação integrada destes elementos se dá com maior detalhamento quando elaborado um diagrama cronoestratigráfico. Este tipo de diagrama foi originalmente proposto por Wheeler (1958), e posteriormente re-evidenciado por Vail et al. (1977a), pois apresenta todos os elementos relevantes em um ordenamento temporal verticalizado. Assim, é possível observar ao longo do tempo geológico relativo, a geometria deposicional das unidades sismoestratigráficas, bem como a variabilidade de seu preenchimento – sismofácies. Para a seção composta trabalhada neste artigo, foi elaborada a carta cronoestratigráfica (Fig. 11A, 11B e 11C), compreendendo as principais feições discutidas a seguir.

A carta cronoestratigráfica mostra a evolução temporal do intervalo de estudo no setor da Guajira Alta. Em termos gerais a deposição da sequência toda é contínua, sem falhamentos importantes que causem interrupções na deposição dos sedimentos (*gaps*). Também não são evidentes erosões importantes que modificaram as unidades depositadas. Observa-se uma discordância no topo da US2. Tal como é observado nas figuras 11A, 11B e 11C, a unidade US1 é truncada no alto de Jarara, mas é constante no resto da seção; a unidade US2 é truncada no alto de Jarara no entanto segue do alto para o leste e ao igual que a US1 é uniforme até a parte mais offshore da seção; a unidade US3 faz *onlap* (*pinch-out*) sobre a US2; a unidade US4 é a única constante ao longo de toda a seção e a unidade US5 ao igual que a US4 é constante na maior parte da seção mas é truncada por uma falha na parte mais offshore da bacia.

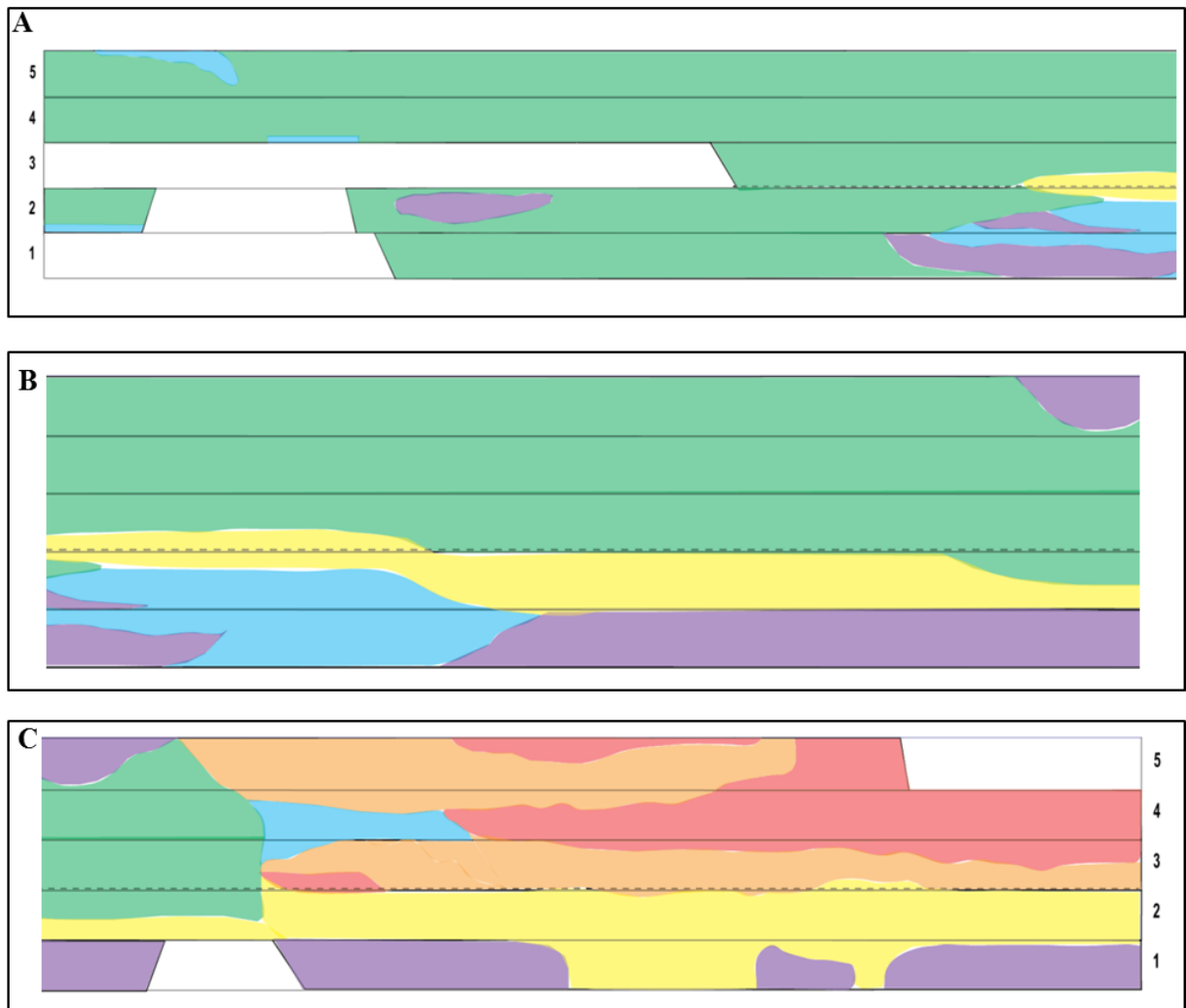


Figura 11. Carta cronoestratigráfica de eventos do intervalo Mioceno médio-inferior – Oligoceno superior. A) porção inicial da seção composta. B) porção média da seção composta. C) porção final da seção composta.

Figure 11. Chronostratigraphic chart of events in middle-lower Miocene – upper Oligocene interval. A) initial segment of the composite line. B) middle segment of the composite section. C) final segment of the composite section.

Inicialmente observa-se a deposição da US1 na base da sequência. Esse primeiro intervalo apresenta uma variedade de sismofácies principais (SF6, SF5, SF4, SF3), relacionadas com diferentes tipos de litologias associadas em geral com um ambiente de talude superior. A posterior segue a deposição da unidade sísmica US2 que apresenta uma maior variedade de fácies sísmicas (SF6, SF5, SF4, SF3 e SF2), e um maior progresso de algumas delas (SF2 e SF3). O desenvolvimento dessa unidade ocorre principalmente no talude e mostra variedades litológicas que incluem rochas carbonáticas transportadas da plataforma e re-sedimentadas no

talude e depósitos tipo *slumps* caracterizados por refletores caóticos. No topo da US2 se apresenta uma discordância e seguidamente a deposição da unidade US3 com litologias basicamente de arenitos intercalados com sedimentos finos identificados em as sismofácies SF6 e SF3, no setor oeste-leste e sismofácies SF1 do setor sul-norte associadas ao mesmo ambiente de talude superior. Essa unidade é a de menor desenvolvimento no intervalo estudado, não entanto não é truncada por a presença de falhamento, mas sim pelo *pinch-out* da unidade mesma sobre a unidade inferior (US2). A deposição das unidades US4 e US5 foi constante ao longo do setor da bacia estudado apresentando um maior desenvolvimento da sismofácies SF6 do alto de Jarara até o alto de Chimare e mudando à sismofácies SF1 e SF2 no setor mais offshore da bacia. As mudanças das sismofácies ocorrem dentro do mesmo ambiente de talude e correspondem com arenitos e arenitos intercalados com lamitos. No redor e no alto de Chimare essas unidades incluindo a US2, são afetadas pelo intenso falhamento. Do alto de Chimare até a porção mais offshore a unidade US5 é truncada por uma falha. A unidade US4 não está afetada por falhamento.

4 Conclusões

A aplicação da estratigrafia de sequencias em seções sísmicas apresenta-se, nos dias de hoje, com uma plena atualidade dos conceitos originais desenvolvidos na década de 70, pelos profissionais da Exxon. Esta persistência nestes conceitos reflete diretamente a robustez conceitual aplicada, baseada claramente em observações, e permitindo ao profissional desenvolver suas interpretações, sem uma mistura conceitual. Entretanto, embora já considerados “clássicos”, estes conceitos encontram-se atualmente um tanto esquecidos, pois a grande maioria dos estudos modernos focam em técnicas específicas e resultados muito mais voltados a determinação de composição das rochas. Esta forma de “retorno ao passado” acaba por fornecer uma observação abrangente, e ao mesmo tempo detalhada, de todos os eventos e seus preenchimentos passíveis de determinação em uma seção sísmica.

A caracterização com o máximo detalhe permitido destes eventos fornece observações de extrema relevância para a exploração de hidrocarbonetos em uma seção sedimentar específica. Assim, utilizando as informações obtidas aqui com este procedimento, podem-se identificar os aspectos abaixo considerados importantes sob o cunho exploratório.

Considerando que as linhas sísmicas interpretadas são 2D, isto tem implicações na resolução dos dados e não permite ver claramente a continuidade lateral e a extensão real dos corpos identificados. Além disso, a caracterização dos refletores e das unidades foi feito em

um software de desenho que não possibilita realizar nivelamentos (*flattening*) das unidades a fim de ver a provável topografia do depósito inferior e inferir a sua deposição.

Todas as unidades sísmicas identificadas na seção estudada correspondem com depósitos de gravidade, tipo fluxo de detritos e turbiditos, e depósitos hemipelágicos. As sismofácies de turbiditos são principalmente calcáreas, as sismofácies de fluxos de detritos têm mistura de litologias tipo siltitos, folhelhos, lamitos, arenitos e carbonatos, e as sismofácies hemipelágicas correspondem em sua maioria com sedimentos finos.

Os lobos areníticos são uns dos elementos deposicionais de turbiditos mais importantes na exploração dos hidrocarbonetos, mas a sua identificação implica vários fatores que são difíceis de definir na sísmica 2D. Na seção estudada, não foi possível identificar lobos, só foram identificados *slumps* produzidos provavelmente pelo falhamento gravitacional. Na parte mais offshore da seção foram definidos depósitos tabulares que inicialmente foram considerados como possíveis lobos, no entanto uma observação mais detalhada das terminações dos refletores, amplitude, continuidade e a ausência de outras linhas sísmicas que permitiram uma melhor definição deles rejeitou essa consideração, tratando-se ao final como depósitos hemipelágicos.

As sismofácies mais relevantes na busca de rochas reservatório referem-se em termos gerais com as de maior amplitude. Não obstante, neste estudo, essas correspondem com os turbiditos de carbonatos (US2) que em concordância com as descrições das amostras de calha, representam rochas carbonáticas muito cimentadas com baixos valores de porosidade e permeabilidade. Por conseguinte, acabam não sendo de relevância exploratória.

O predomínio das sismofácies identificadas corresponde com depósitos hemipelágicos que estão preenchendo as depressões geradas no talude e que se espalham até zonas mais profundas. Estas sismofácies por serem compostas geralmente por lamitos e sedimentos finos não são de interesse exploratório como rochas reservatório. A presença de terrígenos diminui sua qualidade como rocha geradora e como rocha selante.

O falhamento gravitacional perto do Alto de Chimare provocou instabilidade e gerou fluxos de detritos (*slumps*) que foram misturados com lobos e com turbiditos. Esta sismofácies foi a mais claramente identificada, pois a definição das terminações dos refletores foi muito mais evidente graças a estar na parte da seção paralela à deposição dos sedimentos.

A carta de eventos mostra a deposição contínua da sequência sedimentar, com apenas uma discordância importante e muito evidente entre os turbiditos carbonáticos e os fluxos de detritos – a discordância entre as unidades US2 e US3.

A caracterização acurada das sismofácies presentes numa seção sísmica é sem dúvida a melhor maneira de definir elementos arquiteturais e constitui uma ferramenta fundamental na exploração de novas áreas ou na revisão de áreas já exploradas, dado que permite uma inovação da forma de interpretar a sísmica.

Referências bibliográficas

- Brown Jr, L.F. & Fischer, W.L. 1977. Seismic Interpretation of Depositional Systems: Examples from Brazilian Rift and Pull-Apart Basins. *In: Payton, C.E. (Ed.). AAPG Memoir 26 - Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 213-248.
- Cardona, A., Cordani, U. & Macdonald, W., 2006. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences*. 21, pp. 337- 354.
- Cardona, A., Weber, M., Wilson, R., Cordani, U., Muñoz, C. M. & Paniagua, F., 2007. Evolución tectono-magmática de las rocas máficas-ultramáficas del Cabo de La Vela y el Stock de Parashi, Península de la Guajira: registro de la evolución orogénica Cretácica-Eocena del norte de Suramérica y el Caribe. XI CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, Bucaramanga, Agosto, p 14-17.
- Escalona, A. & Mann, P. 2011. Tectonics, basin subsidence mechanisms, and paleogeography of the Caribbean – South American plate boundary zone. *Marine and Petroleum Geology* 28, p. 8-39.
- Katz, B. & Williams, K. 2002, Biogenic gas potential offshore Guajira Peninsula, Colombia. AAPG ANNUAL MEETING, March 10-13, Houston, Texas.
- Kuchle, J. & Scherer, C.M.S. 2010. Sismoestratigrafía de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia de Recôncavo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(2): 33-60.
- Lockwood, J. P. 1965. *Geology of the Serranía de Jarara area, Guajira Peninsula, Colombia*, Princeton University: 237.
- Mitchum Jr., R.M., Vail, P.R. & Sangree, J.B. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Interpretation of seismic reflection patterns in depositional
-

- sequences. In: Payton C.E. (Ed). *AAPG Memoir 26 - Seismic stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 117-133.
- Montes, C. & Cardona, A. 2011. *Paleogeografía de la Margen Noroccidental de Suramérica en el Cenozoico*. Smithsonian Tropical Research Institute – Ecopetrol. Reporte final.
- Payton, C.E. 1977. *AAPG Memoir 26 - Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, 516p.
- Ramirez, V., Vargas, L., Rubio, C., Niño, H. & Mantilla, O. 2015. Petroleum systems of the Guajira Basin, Northern Colombia. Petroleum geology and potential of the Colombian Caribbean Margin, *AAPG Memoir 108*, p. 399-430.
- Ramirez, V., 2006, Geological setting and hydrocarbon occurrences, Guajira Basin, offshore northern Colombia: Extended abstract. AAPG ANNUAL CONVENTION, Houston, Texas.
- Ramirez, V., Rangel, A. & Hernandez, R. 2002, Petroleum systems of the Guajira Basin, northern Colombia, in VIII CONGRESS, Latin American Association of Organic Geochemistry: Cartagena, Colombia.
- Ramirez, V., Rangel, A. & Hernandez, R. 2003, Thermogenic hydrocarbon processes in the Guajira Basin: A petroleum systems approach. VIII SIMPOSIO BOLIVARIANO DE EXPLORACION PETROLERA EN LAS CUENCAS SUBANDINAS, Cartagena, Colombia, p. 277 – 284.
- Rice, D. & G. Claypool, 1981. Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas: *AAPG Bulletin*, v. 65, p. 5–25.
- Renz, O. 1960. Geología de la parte sureste de la Península de La Guajira. III Congreso Geológico Venezolano, *Boletín de Geología, Publicación especial*, Ministerio de Minas e Hidrocarburos., v. 3, p. 317-347.
- Rollins, J. F. 1965. *Stratigraphy and structure of the Guajira Peninsula, northwestern Venezuela and northeastern Colombia*. Universidad Nebraska Studies, New Ser., 30: 1- 1102 p. Lincoln.1965.
- Rubio, C., Hurtado, A., Mantilla, O., Castellanos, J., Vargas, L.S. Niño, H. 2012. *Folleto Geológico y Geofísico Prospecto Orca-1*. Gerencia de Exploración Regional Caribe y Pacífico. Vicepresidencia de Exploración ECOPETROL S.A, 133p. (Reporte interno).
- Vail, P.R., Mitchum Jr., R.M., Todd, R.G., Widmier, J.M., Thompson III, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N. & Hatlelid, W.G. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton, C.E. (Ed.). *AAPG Memoir 26 - Seismic stratigraphy - applications to*
-

hydrocarbon exploration. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 49-212.

Vail, P. R. & Mitchum Jr. R. M. Overview. In: Payton, C. E. (Ed.) *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Memoir 26, Tulsa, p. 51-52, 1977b.

Vail, P. R., Mitchum Jr. R. M. & Thompson III, S. 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap, in C. W. Payton, ed., *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration: AAPG Memoir 26*, p. 63 – 97, 1977c.

Vail, P. R., Todd, R. G. & Sangree, J. B. Chronostratigraphic significance of seismic reflections. In: Payton, C. E. (Ed.) *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Memoir 26. Tulsa, p. 99-116, 1977d.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

El estudio sísmico de alta resolución efetuado nesta área da Guajira Alta é uma metodologia novedosa e competente que pode ser aplicável á áreas sem exploração em blocos novos ou para ter diferentes perspectivas em blocos já explorados.

Como decorrência deste estudo foram individualizadas cinco unidades sísmicas, seis sismofácies e uma carta de eventos. Todas as unidades sísmicas identificadas na seção estudada correspondem com depósitos de gravidade, tipo fluxo de detritos e turbiditos, e depósitos hemipelágicos. As sismofácies de turbiditos são principalmente calcáreas, as sismofácies de fluxos de detritos têm mistura de litologias tipo siltitos, folhelhos, lamitos, arenitos e carbonatos, e as sismofácies hemipelágicas correspondem em sua maioria com sedimentos finos.

As sismofácies mais relevantes na busca de rochas reservatório referem-se em termos gerais com as de maior amplitude. Não obstante, neste estudo, essas correspondem com os turbiditos de carbonatos (US2) que em concordância com as descrições das amostras de calha, representam rochas carbonáticas muito cimentadas com baixos valores de porosidade e permeabilidade. Por conseguinte, acabam não sendo de relevância exploratória.

O predomínio das sismofácies identificadas corresponde com depósitos hemipelágicos que estão preenchendo as depressões geradas no talude e que se espalham até zonas mais profundas. Estas sismofácies por serem compostas geralmente por lamitos e sedimentos finos não são de interesse exploratório como rochas reservatório. A presença de terrígenos diminui sua qualidade como rocha geradora e como rocha selante.

A carta de eventos mostra a deposição contínua da sequência sedimentar, com apenas uma discordância importante e muito evidente entre os turbiditos carbonáticos e os fluxos de detritos – a discordância entre as unidades US2 e US3.

A caracterização acertada das sismofácies presentes numa seção sísmica é a melhor maneira de definir elementos arquiteturais e constitui uma ferramenta fundamental na exploração de novas áreas ou na revisão de áreas já exploradas, posto que permite uma inovação da forma de interpretar a sísmica e pode acrescer as possibilidades na procura de hidrocarbonetos tanto no *onshore* quanto no *offshore* das bacias.

7 REFERÊNCIAS

Antoine, J.W., Martin, R.G., Pyle, T.G., Bryant, W.R., 1974. Continental Margins of the Gulf of Mexico. In: Burk, C.A., Drake, C.L. (eds.). *The Geology of Continental Margins*. Springer Verlag, 683-309.

Bird, D.E., Hall, S.A., Casey, J.F., 1999. Tectonic evolution of the Grenada Basin, Caribbean Basins. *Elsevier Sedimentary Basins of the World Series*, 4, 389-416.

Bouysse, P., 1988. Opening of the Granada back-arc Basin and evolution of the Caribbean plate during the Mesozoic and Early Paleogene. *Tectonophysics*, 149, 121-143.

Brown, L. F., Jr.; Fischer, W. L. 1980. *Seismic Stratigraphic Interpretation and Petroleum Exploration - Continuing Education Course Note Series #16*. American Association of Petroleum Geologists.

Cardona-Molina, A.; Cordani, U.; Macdonald, W., 2006. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences*. 21, pp. 337- 354.

Cardona, A., Weber, M., Wilson, R., Cordani, U., Muñoz, C. M., Paniagua, F., 2007. Evolución tectono-magmática de las rocas máficas-ultramáficas del Cabo de La Vela y el Stock de Parashi, Península de la Guajira: registro de la evolución orogénica Cretácica-Eocena del norte de Suramérica y el Caribe. XI Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Agosto, p 14-17.

Catuneanu, O.; Abreu, V.; Bhattacharya, J. P.; Blum, M. D.; Dalrymple, R. W.; Eriksson, P. G.; Fielding, C. R.; Fisher, W. L.; Galloway, W. E.; Gibling, M. R.; Giles, K. A.; Holbrook, J. M.; Jordan, R.; Kendall, C. G. St. C.; Macurda, B.; Martinsen, O. J.; Miall, A. D.; Neal, J. E.; Nummedal, D.; Pomar, L.; Posamentier, H. W.; Pratt, B. R.; Sarg, J. F.; Shanley, K. W.; Steel, R. J.; Strasser, A.; Tucker, M. E.; Winker, C. Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v. 92, p. 1-33. 2009.

Chopra, S.; Manfurt, Kurt. Evolution of seismic interpretation during the last three decades. Special section: 30th Anniversary TLE. *The Leading Edge*, p. 654-655. 2012.

Duncan, R.A., Hargraves, R.B., 1984. Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame. *Geological Society of America Memoir*, 162, 81-93.

Graciansky, P. C.; Hardenbol, J.; Jacquin T.; Vail, P. R. Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. Society for Sedimentary Geology, Tulsa, 1998. 234 p. (SEPM Special Publication, 60).

Hall, S.A., Ghosh, N., Casey, J.F., Burke, K.C., 1995. Age and formation of oceanic basement beneath the Colombian and Venezuela basins, magnetic anomaly evidence. 3rd Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago and 14th Caribbean Geological Conference, Abstracts, 30-31. Caribbean plates, Seismicity and tectonics. *Tectonics*, 8, (5), 981-997.

Haq, B. U.; Hardenbol, J.; Vail, P. R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. In: Wilgus, C. K.; Hastings, B. S.; Kendall, C. G. ST. C.; Posamentier, H. W.; Ross, C. A.; Van Wagoner, J. C. (Ed.) *Sea-Level Changes: an Integrated Approach*. Society for Sedimentary Geology, Tulsa, p. 71-108, 1988. (SEPM Special Publication, 42).

James, K. H. Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate: discussion, finding for an Inter-American origin. *Geologica Acta*. V. 4, n 1-2, p. 279-302. 2006

James, K.H., 2002b. A simple synthesis of Caribbean Geology. 16th. Caribbean Geological Conference, Barbados, Abstracts.

James, K.H., 2003. A Simple Synthesis of Caribbean Geology. AAPG International Conference, Barcelona, Extended Abstracts Compact Disc.

James, K.H., 2005a. Paleocene to-Middle Eocene flysch-wildflysch deposits of the Caribbean area: a chronological compilation of literature reports, implications for tectonic history and recommendations for further investigation. 16th. Caribbean Geological Conference, Barbados, Transactions, *Caribbean Journal of Earth Sciences*, 39, 29-46.

Jervey, M. T. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. In: Wilgus, C. K.; Hastings, B. S.; Kendall, C. G. ST. C.; Posamentier, H. W.; Ross, C. A.; Van Wagoner, J. C. (Ed.) *Sea-Level Changes: an Integrated Approach*. Society for Sedimentary Geology, Tulsa, p. 47-70, 1988. (SEPM Special Publication, 42.)

Kerr, A.C., Tarney, J., Marriner, G.F., Nivia, A., Saunders, A.D., 1997. The Caribbean-Colombian Cretaceous Igneous Province: The Internal Anatomy of an Oceanic Plateau. In: Mahoney, J.J., Coffin, M.F. (eds.). *Large Igneous Provinces, Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*. American Geophysical Union, *Geophysical Monograph* 100, 123-144.

Kerr, A.C., Tarney, J., 2005. Tectonic evolution of the Caribbean and northwestern South America: The case for and northwestern South America: The case for accretion of two Late Cretaceous oceanic plateaus. *Geology*, 33, 4, 269-272.

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*. V.18, n.2, p.179-206.

Lockwood, J. P. (1965). Geology of the Serranía de Jarara area, Guajira Peninsula, Colombia, Princeton University: 237.

López, E.; Castellanos, J.; Mantilla, O. Regional Interpretation in the northern Colombian Caribbean área. Internal report. ECOPETROL S.A. 2015.

Mitchum Jr., R. M.; Vail, P. R.; Sangree, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C. E. (Ed.) Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. AAPG, Memoir 26, Tulsa, p. 117-133, 1977.

Rogers, R.D., Mann, P., Emmet, P.A., submitteda. Tectonic terranes of the Chortis Block (Honduras and Nicaragua) inferred from integration of regional aeromagnetic and geologic data. Tectonophysics.

Rogers, R.D., Mann, P., Scott, R.W., Patino, L., submittedb. Cretaceous intra-arc rifting, sedimentation and basin inversion in east-central Honduras. Sedimentary Geology.

Rogers, R.D., Mann, P., Emmet, P.A., Venable, M.M., submittedc. Late Cretaceous amalgamation of the western Caribbean Plate by collision between the continental Chortis Block and intraoceanic arc and oceanic plateau Tectonics.

Payton, C. E. (Ed.) Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. AAPG, Memoir 26, Tulsa. 1977. 516p.

Pindell, J.L., Barrett, S.F., 1990. Geological evolution of the Caribbean region; A plate-tectonic perspective. In: Dengo, G., Case, J.E. (eds.). The Caribbean Region, The Geology of North America. Geological Society of America, vol. H, 405-432.

Pindell, J.L., Kennan, L., Barrett, S.F., 2000. Putting It All Together Again. AAPG Explorer, Oct. 2000, 34-37.

Pindell, J.L., 2001. The Pacific Origin of the Caribbean Plate, with emphasis on Cuba. Leicester meeting, Abstract on www.ig.utexas.edu/CaribPlate/CaribPlate.

Pindell, J., Kennan, L., 2003. Synthesis of Gulf of Mexico and Caribbean Tectonic Evolution: Pacific Model for Caribbean Lithosphere. AAPG International Meeting, Barcelona, Abstracts.

Pindell, J.L., Higgs, R., Dewey, J.F., 1998. Cenozoic palinspastic reconstruction, paleogeographic evolution, and hydrocarbon setting of the northern margin of South America. In: Pindell, J.L., Drake, C.L. (eds.). Paleogeographic Evolution and Non-glacial Eustasy, northern South America. Society of Economic and Petroleum Mineralogists Special Publication, 58, 45-85.

Renz, O. 1960. Geología de la parte sureste de la Península de La Guajira. III Congreso Geológico Venezolano, Boletín de Geología, Publicación especial, Ministerio de Minas e Hidrocarburos., v. 3, p. 317-347.

Révillon, S., Hallot, E., Arndt, N.T., Chauvel, C., Duncan, R.A., 2000. A Complex History for the Caribbean Plateau: Petrology, Geochemistry, and Geochronology of the Beata Ridge, South Hispaniola. *Journal of Geology*, 108, 641-661.

Rollins, J. F. 1965. Stratigraphy and structure of the Guajira Peninsula, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. *Univ. Nebraska Studies, New Ser.*, 30: 1-1102 p. Lincoln. 1965. Stratigraphy and structure of the Guajira Peninsula,

Ross, M.I., Scotese, C.R., 1988. A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Tectonophysics*, 155, 139-168.

Rubio, C.; Hurtado, A.; Mantilla, O.; Castellanos, J.; Vargas, L.S.; Niño, H. Folleto Geológico y Geofísico Prospecto Orca-1. Gerencia de Exploración Regional Caribe y Pacífico. Vicepresidencia de Exploración ECOPETROL S.A. 2012

Sloss, L. L.; Krumbein, W. C.; Dapples, E. C. Integrated facies analysis. In: Longwell, C.R. (Ed.). *Sedimentary Facies in Geologic History*. Geological Society of America, Memoir 39, Boulder, p. 91-124, 1949.

Tardy, M., Lapierre, H., Freydier, C., Coulon, C., Gill, J.B., Mercier de Lepinay, B., Beck, C., Martinez, R.J., Talavera, M.O., Ortiz, H.E., Stein, G., Bourdier, J.L., Yta, M., 1994. The Guerrero suspect terrane (western Mexico) and coeval arc terranes (the Greater Antilles and the Western Cordillera of Colombia), a late Mesozoic intra-oceanic arc accreted to cratonal America during the Cretaceous. *Tectonophysics*, 230, 49-73.

Vail, P. R.; Mitchum Jr., R. M.; Todd, R. G.; Widmier, J. M.; Thompson, S., III; Sangree, J. B.; Bubbs, J. N.; Hatlelid, W. G. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton, C. E. (Ed.) *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Memoir 26, Tulsa, p. 49-212, 1977a.

Vail, P. R.; Mitchum Jr., R. M. Overview. In: Payton, C. E. (Ed.) *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Memoir 26, Tulsa, p. 51-52, 1977b.

Vail, P. R.; Mitchum Jr., R. M.; Thompson, S. Global cycles of relative changes of sea level. In: Payton, C. E. (Ed.) *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Memoir 26, Tulsa, p. 83-97, 1977c.

Vail, P. R.; Todd, R. G.; Sangree, J. B. Chronostratigraphic significance of seismic reflections. In: Payton, C. E. (Ed.) *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Memoir, Tulsa, 26, p. 99-116, 1977d.

Weber, M., Cardona, A., Valencia, V., García-Casco, A., Tobón, M., Zapata, S., 2010. U/Pb detrital zircon provenance from Late Cretaceous metamorphic units of the Guajira Peninsula, Colombia: tectonic implications on the collision between the Caribbean arc and the South American margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 805-816.

Wheeler, H. E. Time stratigraphy. *AAPG Bulletin*, Tulsa, v. 42, p. 1047-1063, 1958.
