UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

PEDRO SMITH MENANDRO

SISMOESTRATIGRAFIA DO LOBO DELTAICO DO RIO DOCE

VITÓRIA

2011

PEDRO SMITH MENANDRO

SISMOESTRATIGRAFIA DO LOBO DELTAICO DO RIO DOCE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia, do Departamento de Oceanografia e Ecologia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de grau de Oceanógrafo.

Orientador: Prof. Dr° Alex Cardoso Bastos.

VITÓRIA

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

SISMOESTRATIGRAFIA DO LOBO DELTAICO DO RIO DOCE

PEDRO SMITH MENANDRO

Dr. Alex Cardoso Bastos
Orientador – DOC/CCHN/UFES

Dr. Valéria da Silva Quaresma
Membro Interno – DOC/CCHN/UFES

Ms. Kleverson Alencastre do Nascimento
Membro Interno – PPGOAM-UFES

Vitória, 30 de novembro de 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA DE **PEDRO SMITH MENANDRO**

.

Aos trinta dias do mês de novembro do ano de dois mil e onze, às quatorze horas, realizou-se no Auditório IC II – Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, a defesa pública da Monografia intitulada **"SISMOESTRATIGRAFIA DO LOBO DELTAICO DO RIO DOCE."** de **Pedro Smith Menandro**, aluno do Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para obtenção do grau de **Oceanógrafo**. A Banca Examinadora, devidamente aprovada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Oceanografia, foi constituída por: Alex Cardoso Bastos, Valéria da Silva Quaresma e Kleverson Alencastre do Nascimento. A sessão foi aberta pelo Professor Alex Cardoso Bastos, orientador do aluno. Após a explanação feita pelo aluno, o orientador passou a palavra aos componentes da Banca Examinadora. Terminada a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se em sessão reservada para atribuição das notas, as quais se transcrevem: Alex Cardoso Bastos - nota 9,5 (nove vírgula cinco), Valéria da Silva Quaresma - nota 9,5 (nove vírgula cinco) e Kleverson Alencastre do Nascimento - nota 9,5 (nove vírgula cinco). De acordo com as normas vigentes, o candidato foi considerado APROVADO com nota 9,5, condicionada à apresentação de cópia impressa e digital de sua monografia à coordenação do curso. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às quinze horas, e eu, Valcyr Caetano, Secretário, lavrei a presente ata, a qual assino junto com os membros da Banca Examinadora. Colegiado de Oceanografia, em trinta de novembro de dois mil e onze.

Alex Cardoso Bastos

Valéria da Silva Quaresma

Kleverson Alencastre do Nascimento

Valcyr Caetano
Secretário

SISMOESTRATIGRAFIA DO LOBO DELTAICO DO RIO DOCE

Por

Pedro Smith Menandro

Submetido como requisito parcial para a obtenção de grau de
Oceanógrafo
na
Universidade Federal do Espírito Santo
Novembro de 2011
© Pedro Smith Menandro

Por meio deste, o autor confere ao Colegiado do Curso de Oceanografia e ao Departamento de Oceanografia e Ecologia da UFES permissão para reproduzir e distribuir cópias parciais ou totais deste documento de monografia para fins não comerciais.

Assinatura do autor _____
Curso de graduação em Oceanografia
Universidade Federal do Espírito Santo

Certificado por _____
Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos
Orientador – DOC/CCHN/UFES

Certificado por _____
Profª. Drª. Valéria da Silva Quaresma
DOC/CCHN/UFES

Certificado por _____
Ms. Kleverson Alencastre do Nascimento
Membro Interno – PPGOAM-UFES

Aceito por _____
Prof. Dr. Ângelo Fraga Bernardino
Coordenador do Curso de Oceanografia – DERN/CCHN/UFES

AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por conceder a bolsa de iniciação científica para este projeto, e ao Edital Ciências do Mar – Capes/UFES/UFRJ/Uerj que possibilitou a coleta dos dados utilizados nesse trabalho.

Ao meu orientador Alex Bastos, pelas oportunidades, orientações e apoio, além de servir sempre como referência de conhecimento.

Aos meus familiares, principalmente meu pai, minha mãe e minhas irmãs, que sempre me apoiaram e acreditaram na minha capacidade. À Mayara, companheira de todas as horas, pelo carinho, amor e compreensão.

A toda equipe do Labogeo, em especial ao Kleverson e ao Alex Evaristo, que me ajudaram muito a chegar até aqui.

Agradeço também a Valéria, pelo aceite em participar da banca e por todo apoio ao longo do curso, sempre disponível em ajudar e aconselhar.

Aos amigos das antigas, e aqueles do curso, que tornaram melhor esses quatro anos, e que espero que fiquem pro resto da vida. Entre eles, Rubinho (vulgo Rômulo), Md, Gastão, Lucas Cabral, Guabiroba, Robertinho, Baiana, Sabrina, Elisa (e a galera do estudo), Flor, Brunin, e todos aqueles que injustamente eu me esqueci de citar.

Aproveito pra agradecer também a todos aqueles que de alguma forma ajudaram a completar esse trabalho.

Dedico esse trabalho aos meus avôs,
que certamente se orgulhariam.

RESUMO

O delta do Rio Doce representa o principal ambiente deltaico do Espírito Santo, e está localizado em uma área importante economicamente para o Estado, além de ter o potencial de fornecer informações que permitem reconstruir paleoambientes.

Nesse trabalho buscou-se analisar a configuração estratigráfica dos depósitos sedimentares do lobo deltaico do Rio Doce, o que pode, além de auxiliar no entendimento dos processos envolvidos na evolução sedimentar da costa, fornecer alguns resultados que possam servir de base para instalações submarinas.

Utilizou-se a sismoestratigrafia como método de análise, buscando sempre incrementar as interpretações com o máximo de fatores interferentes (variação relativa do nível do mar, aporte sedimentar, entre outros), e destacando algumas correlações encontradas com a distribuição de ecocaráteres e com resultados sedimentológicos da área. A partir da interpretação de registros sísmicos de alta freqüência adquiridos próximo à desembocadura do Rio Doce, foram reconhecidas duas unidades sísmicas que representam depósitos sedimentares Holocênicos – constituintes do lobo deltaico do Rio Doce, e depósitos interpretados como Pleistocênicos ou transgressivos.

Assim, foi possível construir um modelo de configuração estratigráfica que permitiu inferir o limite de ocorrência dos depósitos do lobo deltaico do Rio Doce.

Palavras-chave: sismoestratigrafia; delta; Rio Doce.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Depósitos Quaternários da Planície Costeira do Rio Doce. (Suguio et al., 1982) 16

Figura 2 - Esquematização da transmissão e da reflexão do sinal sísmico conforme as diferentes impedâncias acústicas das camadas sedimentares. (Fonte: Ayres Neto, 2000) 19

Figura 3 - Esquema dos padrões de terminação de refletores nos limites superior e inferior de uma sequência sísmica (Fonte: Mitchum Jr et al, 1977) 20

Figura 4 - Ilustração dos padrões de reflexão dentro de uma sequência sísmica. Fonte: Ribeiro, 2000 21

Figura 5 - Esquema das configurações de fácies sísmicas (Mitchum et al, 1977) 22

Figura 6 – Geometrias externas típicas de algumas unidades de fácies sísmicas (Mitchum Jr. et al., 1977) 23

Figura 7 - Classificação morfológica de deltas em função da atuação hidrodinâmica predominante. Fonte: Modificado de Galloway, 1975, apud Silva, 2004 24

Figura 8 - Unidades morfoestratigráficas: Planície deltaica, Frente deltaica e Pró-delta. (Masselink e Hughes, 2003) 25

Figura 9 - Configuração estratigráfica representando topset, foreset e bottomset em uma sequência vertical. Fonte: Modificado de Reading, 1979, por Silva et al., 2004..... 26

Figura 10 - Indicação do local do levantamento sísmico (linhas em preto) 28

Figura 11 – Mapa de ecocaráteres com as estações de coleta de sedimento . 32

Figura 12 – Linha sísmica – indicação do ecocaráter 2 (em verde) e do 1 (em marrom), e presença de gás marcada em círculos amarelos. 33

Figura 13 - Linha sísmica (com localização indicada na porção superior esquerda) com indicação das superfícies e unidades sísmicas interpretadas . 34

Figura 14 - Interpretação da linha sísmica localizada ao norte. Indicações: Superfície S1 em vermelho; Superfície S2 em azul; Unidades sísmicas U1 (inferior) e U2. Clinoformas progradantes na U2 bem nítidas. 35

Figura 15 - Interpretação e indicação das superfícies e unidades sísmicas. Reconhecimento da geometria em formato de cunha e de refletores inclinados sigmoidais. 36

Figura 16: Interpretação de um transecto sísmico – SO/NE (localização indicada na parte superior esquerda da imagem). Indicação das superfícies, das unidades sísmicas encontradas, da relação com os tipos de eco, e de um pacote que foge das características padrões encontradas 36

Figura 17: Esquema ilustrando o modelo de configuração das unidades sísmicas identificadas, acompanhado pelo gráfico da curva de paleoníveis relativos do mar com a indicação do período de formação das unidades sísmicas interpretadas (gráfico adaptado de Suguio et al., 1985) 37

Figura 18: Mapa batimétrico (adaptado de Marangoni, 2009) com o limite de ocorrência dos depósitos regressivos traçado em pontilhado..... 39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 OBJETIVOS 14

2.1 Objetivo Geral 14

2.2 Objetivo Específico 14

3 ÁREA DE ESTUDO 15

3.1 Localização e aspectos gerais 15

3.2 Evolução da Planície Costeira do Rio Doce durante o Quarternário 16

4 SISMOESTRATIGRAFIA 18

4.1 Considerações Iniciais 18

4.2 Características do método sísmico 18

4.3 Padrões de terminações dos refletores sísmicos 19

4.4 Fácies sísmicas 21

5 AMBIENTE DELTAICO 24

6 METODOLOGIA 28

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 30

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 40

9 REFERÊNCIAS 41

1 INTRODUÇÃO

A análise evolutiva da configuração morfológica e sedimentar de uma região costeira envolve diversos fatores a serem considerados em escalas espaço-temporais variáveis, como dinâmica sedimentar associada à circulação de correntes, variação relativa do nível do mar, aporte sedimentar, entre outros.

O estudo de ambientes deltaicos é, portanto, de enorme importância, visto que são ambientes de interesse econômico e podem fornecer informações ambientais que permitem a reconstrução de paleoambientes. De acordo com Silva (2004), os deltas geralmente estão associados a rios de grande descarga aportando em bacias nas quais os processos de ondas e marés são insuficientes para dispersar os sedimentos que ali chegam, promovendo progradação da linha de costa. São vários os fatores combinados que geram variadas formas de deltas, e dentre tais fatores, Bhattacharya e Giosan (2003) mencionam a descarga sedimentar fluvial, a assimetria de deltas gerada por diferentes processos costeiros (por exemplo, a influência de correntes longitudinais), e o contexto paleogeográfico. Além dessas numerosas forçantes que interferem na evolução de deltas, Elliot (1989) ressalta que esses são ambientes com conexões com sistemas fluviais, com sistemas de plataforma, e eventualmente com mar aberto.

Com isso, o propósito de interpretar as terminações e configurações dos refletores sísmicos do depósito sedimentar em frente à desembocadura do Rio Doce está correlacionado com vários processos sedimentares, tectônicos e eustáticos e auxiliará no entendimento da evolução Holocênica do pacote sedimentar em questão.

Sabendo do grande potencial econômico da Bacia do Espírito Santo em relação ao campo energético, focaliza-se nesse trabalho a região deltaica do Rio Doce. Essa região está inserida na plataforma de Regência (ES), onde já existem alguns campos produtores de gás e óleo, embora seja ainda necessário o aprofundamento de estudos que envolvam morfologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares para o melhor entendimento dos processos hidrodinâmicos e sedimentares. Assim, busca-se colaborar para fundamentação de projetos para instalação de estruturas, determinação de

trajetórias de dutos, além de fornecer resultados que contribuem para o melhor conhecimento da evolução sedimentar dessa região e de deltas de forma geral.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Interpretar o depósito sedimentar holocênico de uma porção do lobo deltaico do Rio Doce utilizando uma abordagem sismoestratigráfica.

2.2 Objetivos específicos

- Definir espacialmente a distribuição dos ecocaráteres
- Reconhecer superfícies e unidades sísmicas e associar aos processos sedimentares de formação do depósito
- Definir o limite de ocorrência dos depósitos regressivos do lobo deltaico do Rio Doce com base na sismoestratigrafia

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e aspectos gerais

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce possui enorme importância para o Espírito Santo e associada a ela há o principal ambiente deltaico presente no estado, que vem sendo objeto de estudo desde a década de 1970. Embora os trabalhos científicos nessa região tenham começado há bastante tempo, faltam estudos que permitam o melhor entendimento da evolução do delta, além de servirem de base de dados para eventuais necessidades.

A bacia hidrográfica do Rio Doce está situada na região Sudeste, entre os paralelos 18°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste, compreendendo uma área de drenagem de cerca de 83.400 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante ao Estado do Espírito Santo. O Rio Doce, com uma extensão de 853 km, recebe este nome quando do encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo, e deságua no oceano Atlântico no povoado de Regência, no Espírito Santo (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce).

As características climáticas foram descritas por Bandeira Jr. (1975, apud Suguio et al., 1982) e podem ser sintetizadas como um clima, segundo a classificação de Köppen, tropical quente e úmido com chuvas de verão e inverno seco. Os ventos dominantes são os de nordeste e os de sudeste, estando estes últimos associados à frente frias.

A planície deltaica do Rio Doce está localizada no Setor 2 da classificação de Martin et al (1996), onde os depósitos quaternários encontram-se bem desenvolvidos (Fig.1). De acordo com Mendes (1984), na planície deltaica do Delta do Doce destacam-se cordões de areia, com estratificação paralela, mergulhando levemente para o mar; às vezes observa-se estratificação cruzada acanalada. Os depósitos arenosos da frente deltaica estendem-se até os sedimentos prodeltaicos e são mais finos do que as areias dos cordões litorâneos. Os depósitos de prodelta apresentam estratificação paralelo-horizontal, com marcas onduladas e sinais de bioturbação.

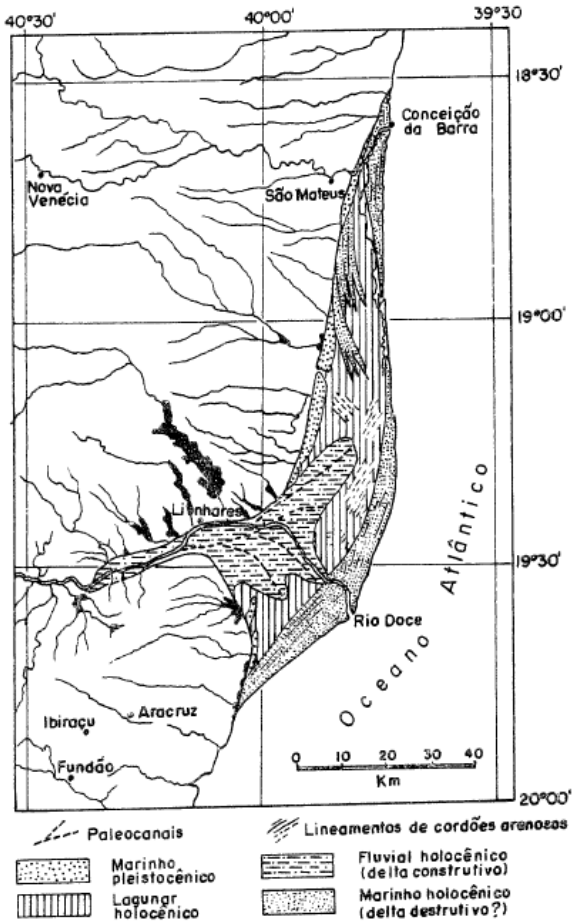


Figura 1: Depósitos Quaternários da Planície Costeira do Rio Doce. (Suguio et al., 1982)

3.2 Evolução da Planície Costeira do Rio Doce durante o Quaternário

As flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário na costa brasileira propiciaram particularidades no desenvolvimento do delta do Rio Doce. Várias investigações foram feitas (Suguio et al.,1982; Dominguez et al., 1983; Suguio et al., 1985) analisando a sequência da sedimentação quaternária, o que gerou até mesmo um questionamento, já refutado, sobre a validade da designação de delta para esse ambiente em questão (Dominguez, 1990) devido a grande contribuição para a progradação deltaica de sedimentos oriundos da deriva costeira que acabam sendo bloqueados pela desembocadura fluvial – semelhante a ação de um molhe artificial.

A evolução sedimentar quaternária pode ser descrita da seguinte maneira, de acordo com Suguio et al. (1982). Primeiramente, há aproximadamente 120 mil anos durante o máximo da transgressão Cananéia (Suguio e Martin, 1978, apud Suguio et al., 1982), o nível do mar estava cerca de 8-10 metros acima do

atual, o que deixou os vales entalhados na Formação Barreiras afogados, com o curso inferior do rio formando um grande estuário. Com o início da regressão formaram-se terraços pleistocênicos e pontais arenosos que fecharam as entradas dos vales afogados, formando-se lagunas. A última grande transgressão teve início há aproximadamente 18 mil anos, e foi interrompida há cerca de 6,5 mil anos, quando a transgressão atingiu um máximo e o nível do mar permaneceu estacionário até cerca de 5,5 mil anos AP. Nesta época, formaram-se ilhas barreiras que isolaram o sistema deltaico intralagunar, fato comprovado por datações de radiocarbono de conchas de moluscos (Suguio et al., 1982). Com a regressão subseqüente, entre 5.100 a 3.900 anos AP, movimentos progradantes levaram ao domínio dos ambientes fluviais e à abertura de uma saída para o oceano.

É válido ressaltar a constatação de Dominguez et al. (1983), que concluíram que a progradação não se deu apenas à custa dos sedimentos expostos durante a última regressão; importante papel pode ser atribuído a deriva litorânea, que pode ter introduzido quantidades significativas de sedimentos na planície costeira do Rio Doce.

4 SISMOESTRATIGRAFIA

4.1 Considerações iniciais

A sismoestratigrafia é uma ferramenta para identificação, mapeamento e interpretação de sequências estratigráficas a partir da análise de dados sísmicos, que inclui reconhecimento e interpretação dos padrões e das configurações dos refletores (Urien et al, 2003; Lopes, 2004; Pontes, 2005; Cruz, 2008).

Um dos fundamentos sismoestratigráficos é a análise das terminações e das configurações das reflexões sísmicas, o que permite associações de conotação cronoestratigráfica e correlações com variações relativas do nível do mar, bem como com a evolução sedimentar de determinada região (Mitchum Jr. et al, 1977).

Outro princípio é a definição de unidades cronoestratigráficas a partir das reflexões (interfaces, estratos, discordâncias); entretanto, os limites entre unidades litológicas são muitas vezes transicionais ou gradacionais e não produzem reflexões (Kearey et al, 2009). Dessa forma, reflexões sísmicas não representam necessariamente contatos litológicos (Ribeiro, 2000).

4.2 Características do método sísmico

O método sísmico é uma investigação indireta que se baseia nas diferentes velocidades de ondas sísmicas em diferentes meios. O sinal acústico sempre é refletido quando encontra uma interface de diferente impedância acústica (Fig.2), sendo esta última função de diversos fatores relacionados às propriedades do meio; essas interfaces são registradas e designadas como refletores sísmicos (Ayres Neto, 2000).

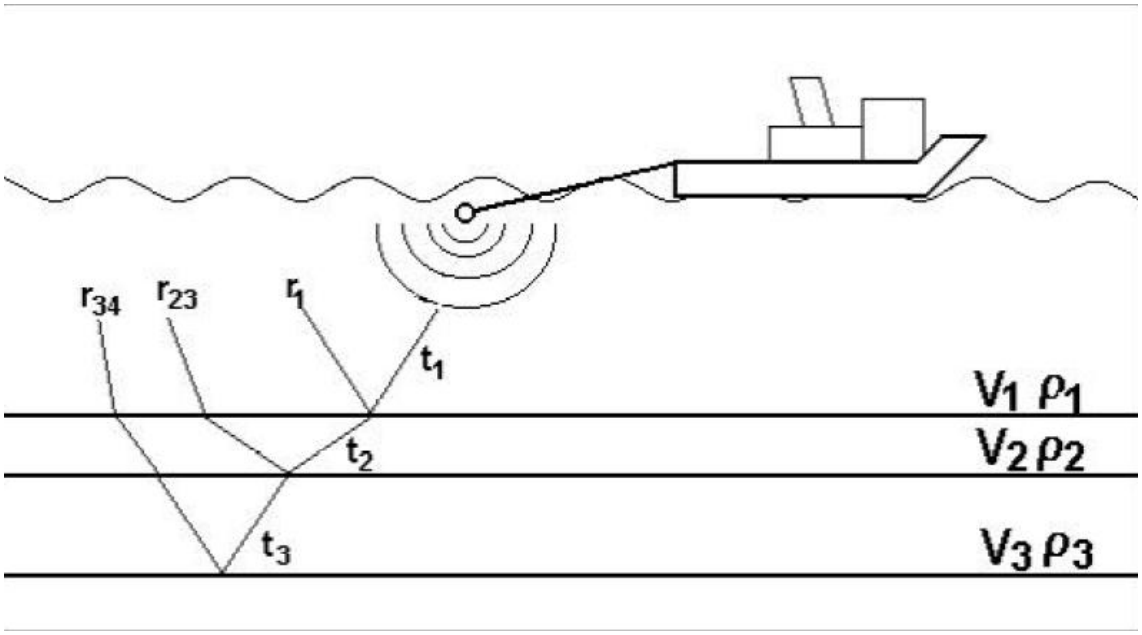


Figura 2: Esquematização da transmissão e da reflexão do sinal sísmico conforme as diferentes impedâncias acústicas das camadas sedimentares. (Fonte: Ayres Neto, 2000)

Existem vários equipamentos de fonte sísmica de diferentes freqüências emitidas, que definirão a aplicabilidade para determinadas finalidades de acordo com a atenuação e a penetração do sinal sísmico. Seguindo nessa linha, as fontes sísmicas de alta freqüência produzem melhor resolução, permitindo aplicação na investigação de espessura de camadas rasas de sedimentos, por vezes em uma resolução centimétrica, em estudos de assoreamento de reservatórios, na caracterização da estratigrafia recente, com resultados satisfatórios para a coluna sedimentar holocênica (Souza, 2006), conforme objetivou esse trabalho.

4.3 Padrões de terminação dos refletores sísmicos

Para individualizar sequências ou unidades deposicionais, é interessante identificar os padrões de terminação dos refletores sísmicos, que dentre os principais estão onlap, toplap, downlap, truncamentos erosional e as concordâncias (Mitchum Jr. et al, 1977), conforme ilustrado na figura 3.

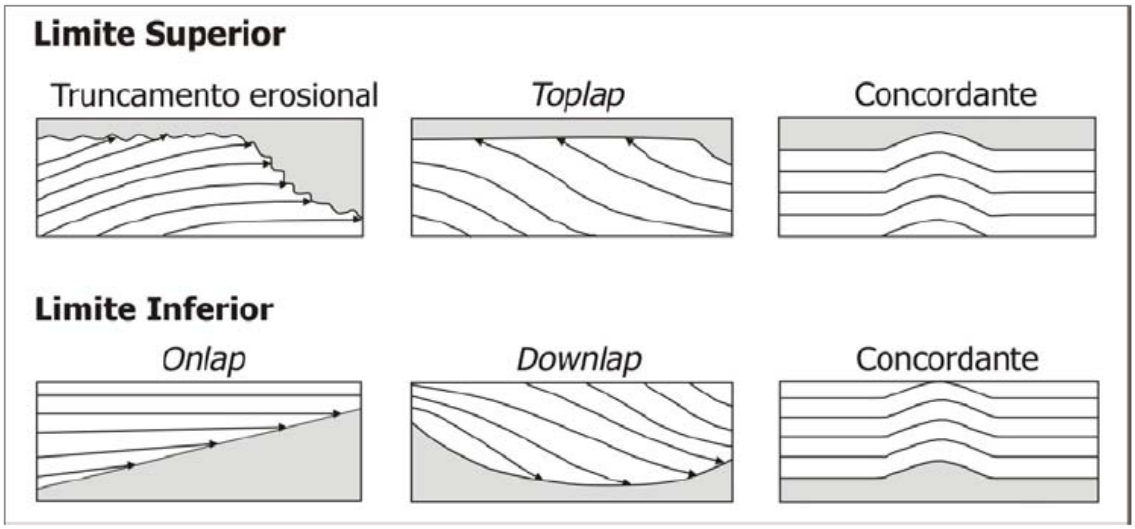


Figura 3: Esquema dos padrões de terminação de refletores nos limites superior e inferior de uma sequência sísmica (Fonte: Mitchum Jr et al, 1977).

Seguindo as descrições feitas por Mitchum Jr et al (1977) e Ribeiro (2000), no limite superior temos o toplap com reflexões/estratos terminando lateralmente, diminuindo gradualmente de espessura mergulho acima e ascendendo ao limite superior. O toplap evidencia um hiato não deposicional e ocorre quando o nível de base é muito baixo, a ponto de impedir a continuidade de deposição. Em alguns casos pode ocorrer by-pass sedimentar e pequenas erosões acima do nível de base.

Já o truncamento mostra terminações laterais por terem sido seccionadas de seu limite deposicional original, podendo ser erosional ou estrutural (intrusão ígnea, deslizamento gravitacional, fluxo de sal, ruptura estrutural).

No limite inferior (baselap) aparecem frequentemente dois tipos de terminações: i) onlap - reflexão inicialmente horizontal terminando deposicionalmente contra uma superfície inicialmente inclinada ou quando uma reflexão com certa inclinação termina deposicionalmente mergulho acima contra uma superfície de maior inclinação; ii) downlap - quando uma reflexão, inicialmente inclinada, termina mergulho abaixo contra uma superfície originalmente horizontal ou inclinada.

A concordância ou conformidade ocorre quando as reflexões/estratos de duas unidades sísmicas ou sequências adjacentes se apresentam paralelas com as superfícies que as delimitam.

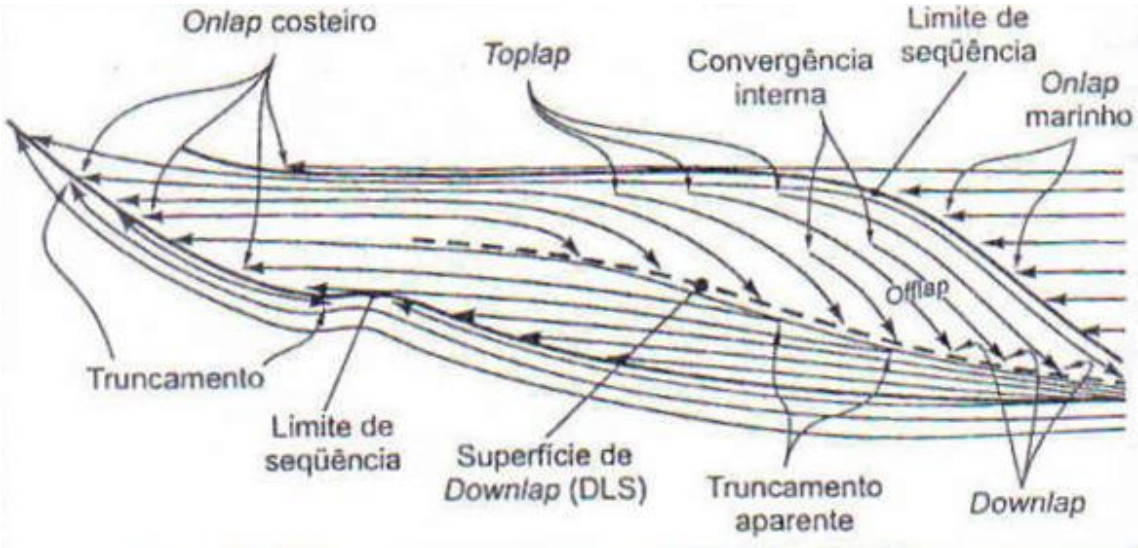


Figura 4: Ilustração dos padrões de reflexão dentro de uma sequência sísmica. Fonte: Ribeiro, 2000.

4.4 Fácies sísmicas

A identificação dos padrões de terminação de refletores ajuda a construir, delimitar e interpretar fácies sísmicas. Fácies sísmica, de acordo com Mitchum et al (1977), pode ser definida como um grupo de reflexões que apresentam determinado padrão, ou conjunto de características, que o diferencia dos grupos adjacentes dentro de uma sequência sísmica.

De acordo com Ribeiro (2000), na interpretação das fácies sísmicas são descritos os parâmetros dos padrões de reflexão observados numa unidade sísmica ou numa seqüência (como exemplos, configuração, continuidade, amplitude, freqüência), e a partir daí interpreta-se o significado geológico. Os principais padrões de configuração das reflexões para análise de fácies sísmica estão ilustrados na Figura 5, e serão descritos conforme a concepção de Mitchum et al (1977), Ribeiro (2000), Alves (1999) e Pontes (2005).

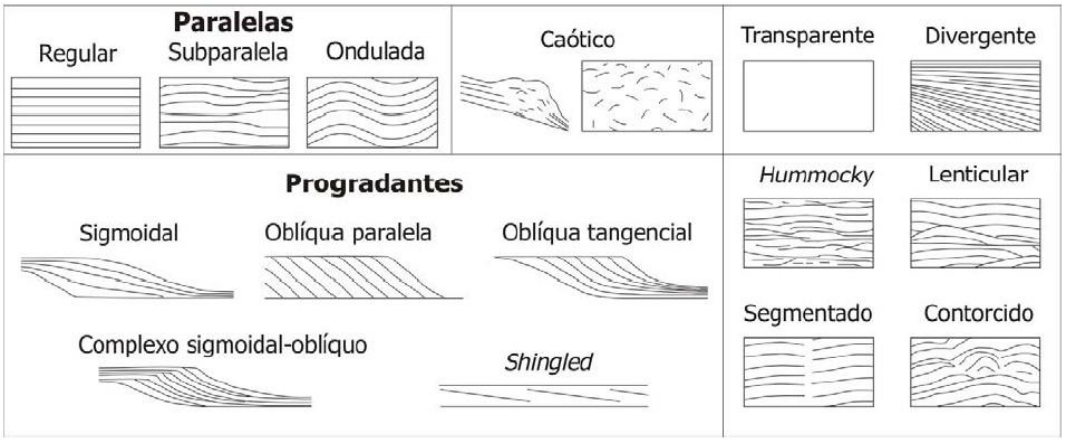


Figura 5: Esquema das configurações de fácies sísmicas. Fonte: Mitchum et al, 1977.

A configuração paralela/subparalela indica uma uniformidade da taxa de deposição dos estratos sobre uma superfície estável, ou uniformemente subsidente. São feições presentes em sistemas fluviais, evaporíticos, planícies abissais e em plataforma. Refletores ondulados sugerem processos de decantação, floculação e precipitação, podendo ocorrer em sistemas evaporíticos e em planícies abissais (Ojeda, 1991, apud Pontes, 2005).

As configurações progradantes ocorrem em áreas onde os estratos superpõem-se lateralmente, formando superfícies inclinadas denominadas clinoformas. São produtos de processos sedimentares de tração, fluxo gravitacional e decantação, presentes em sistemas deltaicos, na plataforma, nas bordas de plataforma e em leques costeiros (Pontes, 2005). Os diferentes tipos de clinoformas são resultados das variações de aporte sedimentar e espaço de acomodação.

A configuração caótica é representada por reflexões descontínuas num arranjo desorganizado. Esse tipo de configuração é interpretado como camadas depositadas num ambiente variável de energia relativamente alta ou como a deformação de estratos posteriormente à deposição. Cânions submarinos, talude, estruturas de deslizamento, complexos de corte e preenchimento de canais e zonas altamente falhadas, dobradas ou contorcidas podem ter expressão sísmica caótica (Alves, 1999).

O padrão de fácies sísmica transparente mostra, geralmente, poucos refletores e de baixa amplitude, indicando pouco contraste de impedância acústica,

podendo ser a expressão sísmica de unidades litológicas homogêneas e/ou não estratificadas.

A configuração divergente é caracterizada por uma unidade em formato de cunha em que a maior parte do espessamento lateral é acompanhada pelo espessamento das camadas dentro da unidade. Podem ocorrer em deltas, leques costeiros, taludes, planícies abissais, e sugerem variação espacial da taxa de deposição ou inclinação progressiva, ou combinação de ambos (Alves, 1999).

Refletores hummocky consistem de reflexões irregulares e descontínuas, com padrão ondulado não-sistemático. Em águas rasas são observados em prodeltas ou ambientes interdeltaicos (Ribeiro, 2000).

A geometria das fácies sísmicas também é uma característica importante, que pode fornecer informações sobre o tipo de deposição que ocorreu, e assim permite inferências sobre o tipo de ambiente. A Figura X ilustra os principais padrões de geometria de algumas unidades de fácies sísmicas.

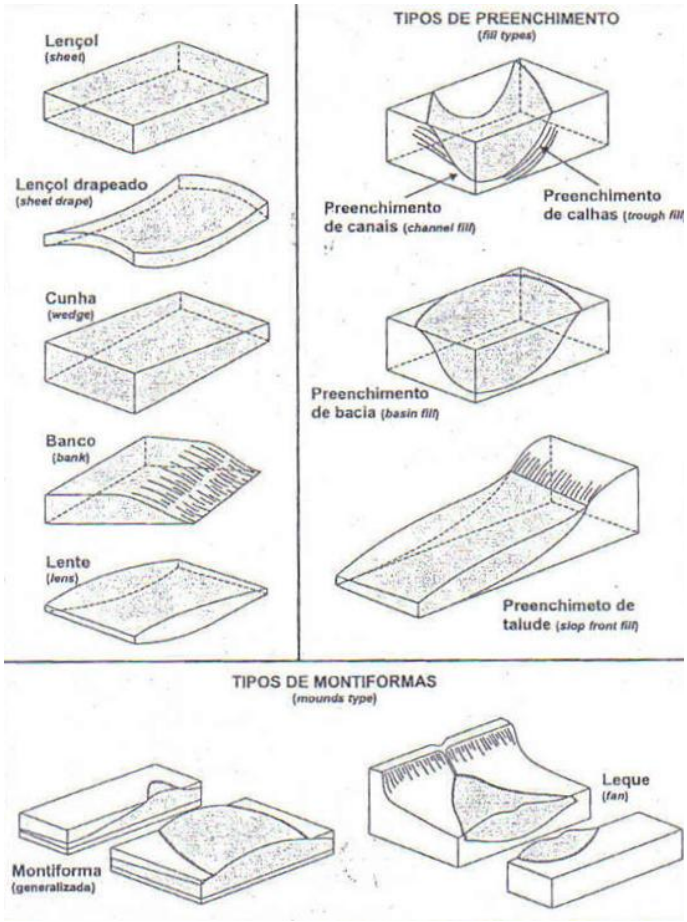


Figura 6: Geometrias externas típicas de algumas unidades de fácies sísmicas (Mitchum Jr. et al., 1977).

5 AMBIENTE DELTAICO

Por definição, deltas estão geralmente associados a rios com grande descarga sedimentar aportando em bacias nas quais os processos costeiros como ondas e marés são insuficientes para dispersar os sedimentos (Silva et al., 2004).

A morfologia do ambiente deltaico é resultante da combinação de vários fatores, dentre os quais podem ser citados o regime fluvial, a ação de processos costeiros, a área drenada associada com a fonte dos sedimentos, a morfologia da plataforma continental, a tectônica, entre outros.

A conjugação resultante desses fatores dificulta a definição de uma classificação que abranja todos essas forçantes. Por vezes, aparecem alguns padrões de sedimentação que permitem a distinção de tipos deltaicos, além de possibilitar a identificação de setores. Galloway (1975, apud Mendes, 1984) propôs três tipos de deltas, conforme a predominância dos atuantes hidrodinâmicos: i) deltas dominados por rios; ii) deltas dominados por ondas; iii) deltas dominados por marés (Fig. 7).

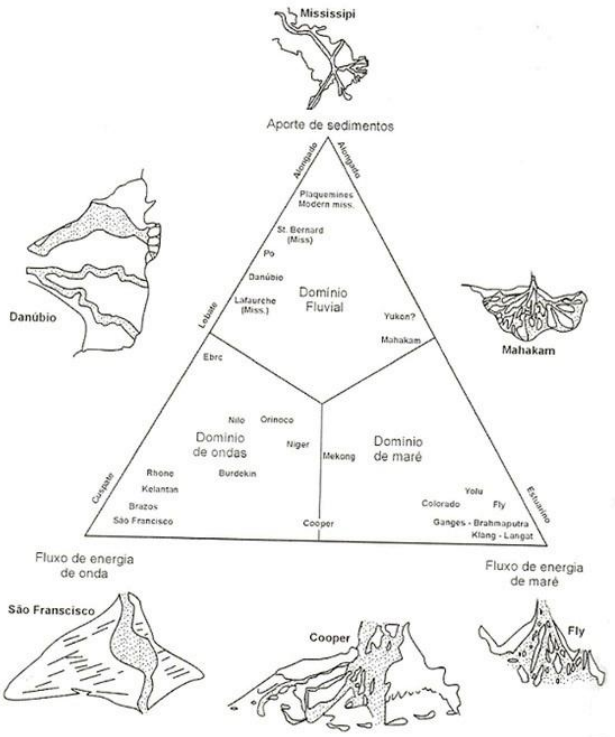


Figura 7: Classificação morfológica de deltas em função da atuação hidrodinâmica predominante. Fonte: Modificado de Galloway, 1975, apud Silva, 2004.

A distribuição sedimentar ao longo de um ambiente deltaico mostra, horizontalmente, um afinamento granulométrico em direção ao mar, isto é, os sedimentos mais grossos se depositam próximos à desembocadura, enquanto os mais finos depositam-se na porção distal. Já numa seção vertical, observa-se uma granuloascendência da base para o topo (ver, por exemplo, Masselink e Hughes, 2003).

Essas características, que marcam uma progradação da linha de costa, formam um modelo morfodinâmico (Fig.8) com três unidades morfoestratigráficas: planície deltaica, frente deltaica e prodelta (Masselink e Hughes, 2003).

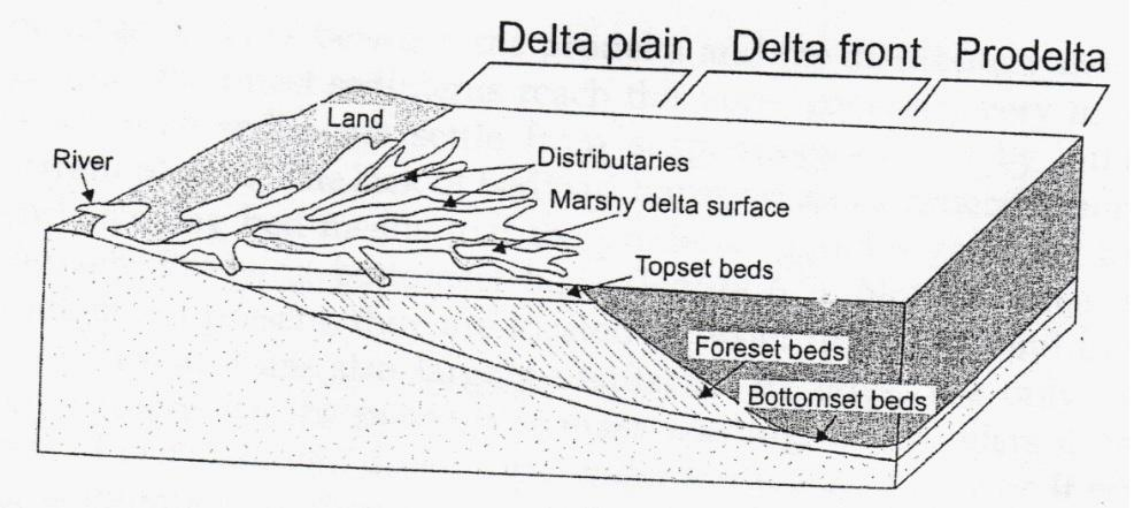


Figura 8: Unidades morfoestratigráficas: Planície deltaica, Frente deltaica e Pró-delta. (Masselink e Hughes, 2003)

A sedimentação na planície deltaica pode ser complexa, pois nessa zona podem estar presentes diversas feições, como lagos, planícies de inundação, e, dependendo da morfologia, diversos canais distributários. Contudo, os depósitos sedimentares são chamados de *topsets*, que consistem geralmente de sedimentos mais grossos, acamados horizontalmente ou com gradiente muito suave, sobrepondo os sedimentos de uma antiga frente deltaica.

A frente deltaica é a transição da planície deltaica até a região do pró-delta. Apresenta depósitos conhecidos como *foresets*, os quais são constituídos por areias e siltes e marcam a região de maior sedimentação de deltas

progradantes. Esta região marca o depósito progradacional, formando as clinoformas, que são acamamentos inclinados na direção da progradação.

A região de pró-delta não aparece necessariamente em todos os deltas, sendo uma região que apresenta somente sedimentos bem finos (silte e argila) depositados em águas mais profundas, em condições de baixa turbulência. Esses depósitos formam os *bottomsets*, geralmente acamados em sequência levemente inclinada, que poderão ser recobertos por sedimentos da frente deltaica e posteriormente por areias de praia em uma grande escala temporal.

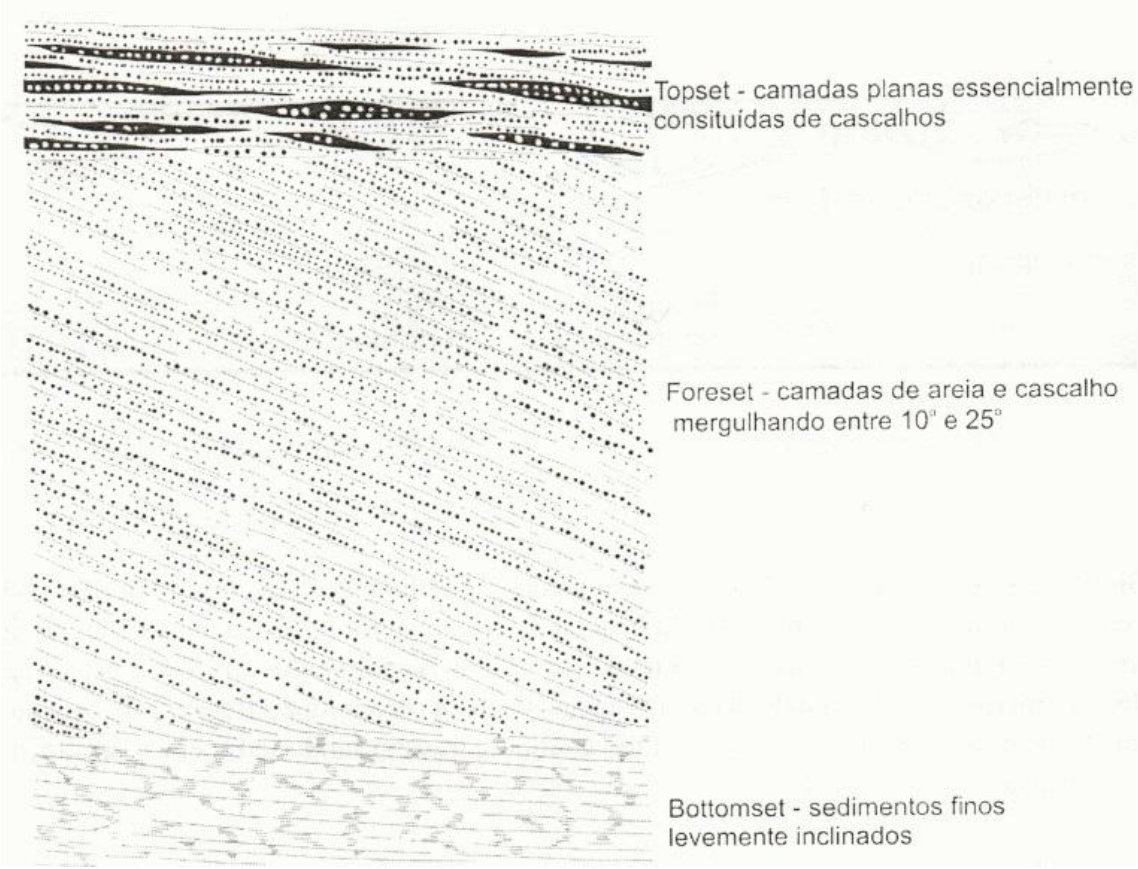


Figura 9: Configuração estratigráfica representando topset, foreset e bottomset em uma sequência vertical. Fonte: Modificado de Reading, 1979, por Silva et al., 2004.

A respeito da arquitetura dos depósitos deltaicos, é importante destacar o papel dos ciclos de mudanças do nível relativo do mar, que podem produzir registros importantes na sequência estratigráfica dos depósitos e assim auxiliar no entendimento da evolução sedimentar de determinado ambiente.

Elliot (1989) e Porebske & Steel (2006) deram contribuições importantes para a compreensão da influência das variações do nível relativo de mar na evolução

de sistemas deltaicos. Segundo a visão dos autores mencionados anteriormente, o balanço entre o aporte sedimentar e as variações relativas do nível do mar permitem a progradação da feição deltaica.

Porebske & Steel (2006) propõem ainda uma abordagem para classificação de sistemas deltaicos que envolve a evolução desses ambientes regressivos de acordo com a posição sobre a plataforma.

Liquete et al. (2008) conseguiram reconhecer 5 unidades sísmicas na plataforma continental prodeltaica de Barcelona, dentro de um contexto cronoestratigráfico pelo método sismoestratigráfico. Os resultados desse estudo indicaram a importância das variações globais do nível relativo do mar na formação dos depósitos; contudo, a preservação desses depósitos parece ser principalmente controlada por fatores como o fluxo sedimentar oriundo de rios, o espaço de acomodação, a subsidência e a compactação do pacote de sedimentos, a morfologia local e, em menor escala, a atividade neotectônica.

6 METODOLOGIA

O estudo sismoestratigráfico foi realizado a partir de registros sísmicos de alta freqüência obtidos com o perfilador de subfundo modelo Stratabox, o qual emite pulsos na faixa de 10 kHz. Os dados foram coletados na plataforma interna adjacente a desembocadura do Rio Doce (Fig. 10), em fevereiro de 2011, e posteriormente analisados no software SonarWizMAP-4, da Cheasepeak Technology.

A abordagem sismoestratigráfica permitiu a interpretação dos depósitos a partir do reconhecimento de terminações dos refletores (com base em Mitchum Jr., 1977), da identificação de ecocaráteres e de fácies sísmicas, e posterior contextualização cronoestratigráfica dentro do cenário evolutivo do ambiente deltaico do Rio Doce.

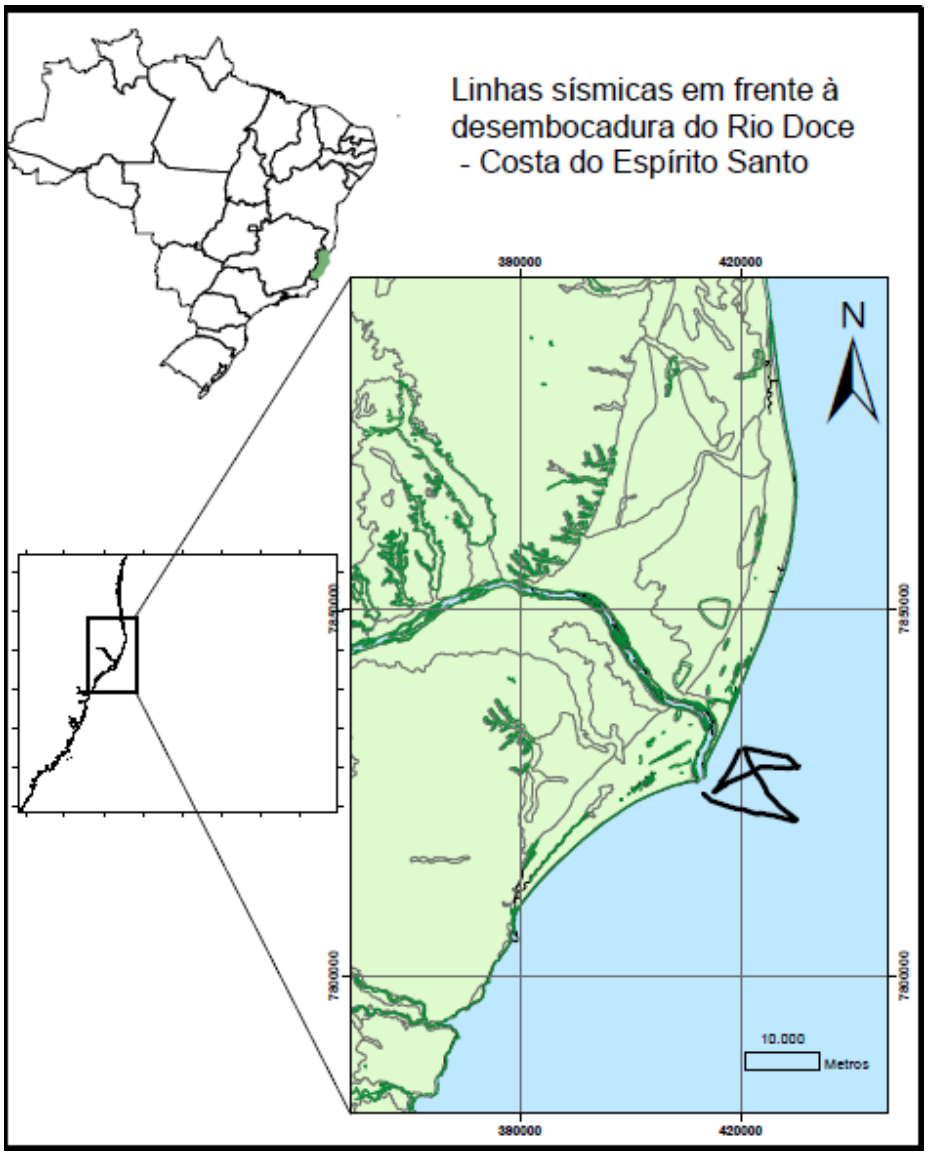


Figura 10: Indicação do local do levantamento sísmico (linhas em preto).

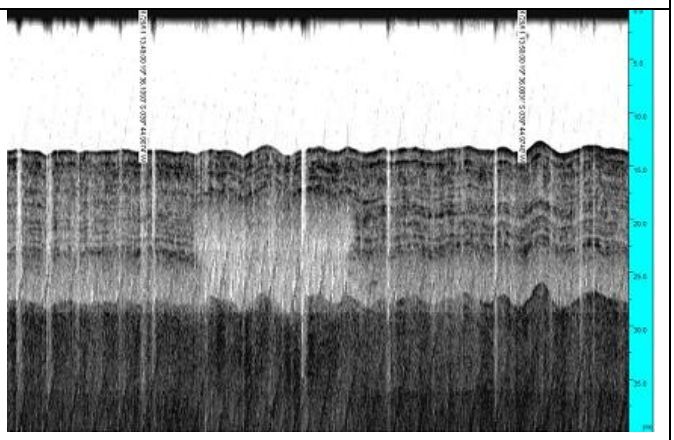
Para melhor compreensão e definição da classificação dos ecocaráteres foram agrupados aos dados sísmicos, resultados sedimentológicos de amostras de sedimento superficial (9 Estações de coleta) coletadas com uma draga do tipo Van-Veen. O tratamento das amostras consistiu no procedimento de lavagem das amostras, que foram então peneiradas para definir os teores de lama e de areia. O processamento e análise das amostras foram feitos pela aluna Estefânia Godinho, que cedeu os dados para a análise realizada nessa monografia.

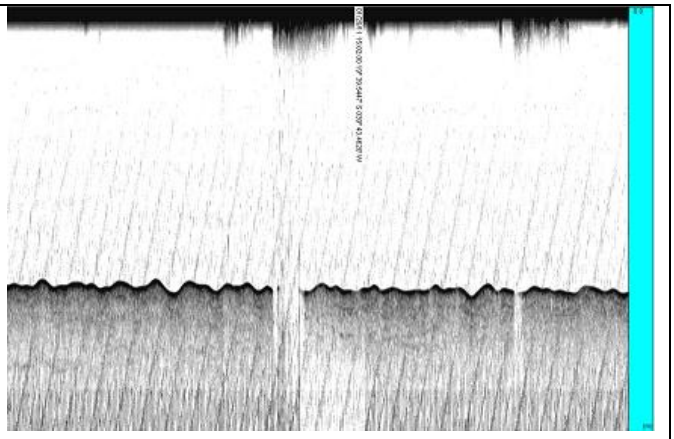
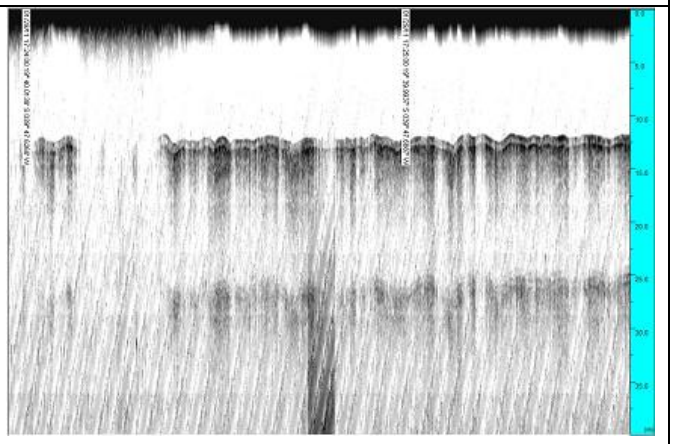
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira parte dos resultados consiste no reconhecimento de ecocaráteres a partir da assinatura sísmica dos registros sísmicos – penetração do sinal, reflexão superficial e refletores de subfundo (Damuth, 1975), e posteriormente correlacionar a resposta acústica do registro sísmico com o tipo de sedimento superficial. Esse tipo de análise auxilia na compreensão dos principais processos sedimentares atuantes.

Assim, foi possível reconhecer três padrões principais de eco: i) Ecocaráter tipo 1: caracteriza-se pela alta penetração do sinal, com refletor superficial de alta reflexão e a presença de vários refletores subsuperficiais acompanhando o fundo; nesse tipo 1 observou-se, eventualmente, a presença de gás e formas de fundo; ii) Ecocaráter tipo 2: caracterizado pela baixa penetração do sinal acústico e o refletor superficial de alta reflexão; iii) Ecocaráter tipo 3: refletor superficial de baixa reflexão associado a um refletor subsuperficial de alta reflexão; eventualmente aparecem pacotes que parecem indicar a presença de lama.

Tabela 1: Ecocaráteres

Ecocaráter	
Tipo 1: caracteriza-se pela alta penetração do sinal, com refletor superficial de alta reflexão e a presença de vários refletores subsuperficiais acompanhando o fundo; estruturas de gás nos sedimentos.	

Tipo 2: caracterizado pela baixa penetração do sinal sísmico; refletor superficial de alta reflexão.	
Tipo 3: refletor superficial de baixa reflexão, associado a um refletor subsuperficial de alta reflexão; eventualmente aparecem pacotes que indicam a presença de lama.	

É possível observar no mapa de ecocaráteres (Fig. 11) alguma alternância entre os ecos tipo 1 e tipo 3. Os dois tipos de assinatura sísmica mostram alguma penetração do sinal sísmico no pacote sedimentar, o que parece estar associado à grande quantidade de sedimento lamoso presente oriundo da desembocadura do Rio Doce. Já o eco tipo 2 aparece principalmente nas áreas mais profundas e distantes da costa; pela sua configuração (alta reflexão e pouca penetração), esse tipo de registro está representando um sedimento mais reflexivo (ver teor de areia na Tabela 2), e sugere a indicação de uma área com processos sedimentares típicos de plataforma.

Vale ressaltar ainda, que no ecocaráter 1 é possível identificar freqüentes trechos do registro nos quais o sinal ficou ausente devido a diferença de impedância acústica, o que foi interpretado como presença de gás no pacote sedimentar. Grossmann (2002) menciona a presença de matéria orgânica combinada com alta taxa de sedimentação como características comuns de estuários que criam condições apropriadas para a geração e preservação de gás biogênico. Embora não tenha sido feita nenhuma análise desse material,

as condições locais provavelmente contribuem para acumulação de gás biogênico.

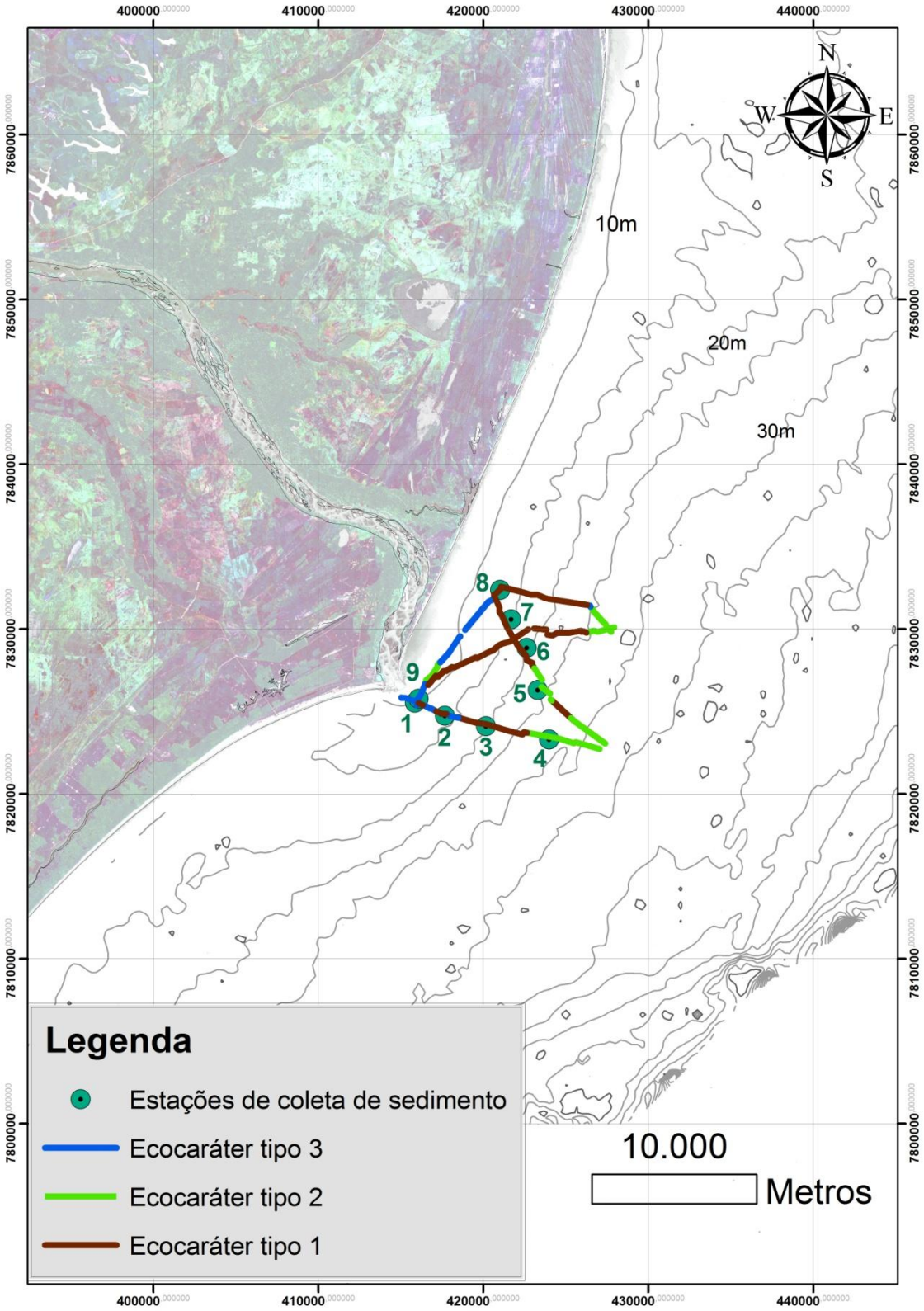


Figura 11: Mapa de ecocaráteres com as estações de coleta de sedimento.

A Tabela 2 abaixo apresenta os resultados dos teores de lama e de areia para cada uma das estações de coleta do sedimento superficial. Observa-se que o teor de lama é bem alto em todas as amostras; a única que mostrou um teor de areia mais alto (Estação 04) está localizada em um local onde o ecocaráter tipo 2 apareceu na classificação de acordo com o Mapa de ecocaráteres (Fig. 11). Dessa forma, o tipo de sedimento superficial parece ser um dos principais fatores que atuam na definição do ecocaráter do registro sísmico (penetração do sinal maior onde há maiores teores de lama).

Tabela 2: Resultados do tratamento sedimentológico das amostras de sedimento superficial.

Estação de coleta	Teor de areia	Teor de lama
Estação 01	10,4%	89,6%
Estação 02	11,9%	88,1%
Estação 03	5%	95%
Estação 04	50,5%	49,5%
Estação 05	10,8%	89,2
Estação 06	13,9%	86,1%
Estação 07	9,7%	90,3%
Estação 08	26,2%	73,8%
Estação 09	4,7%	95,3%

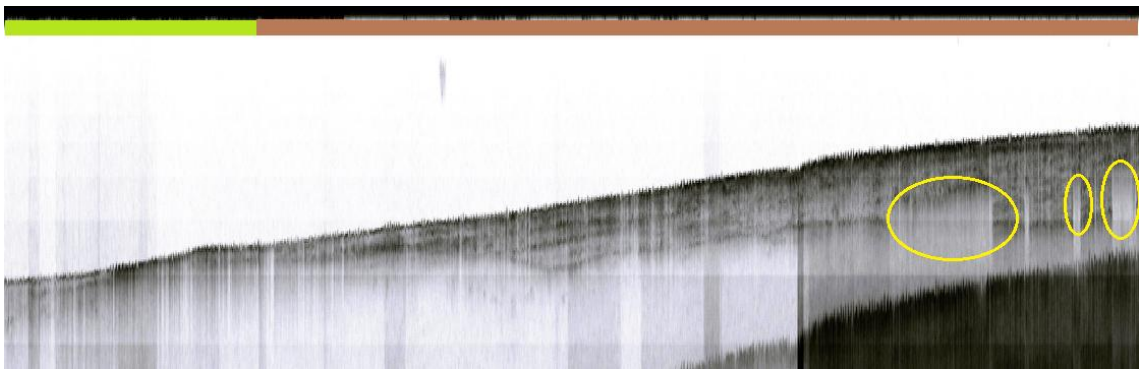


Figura 12: Linha sísmica – indicação do ecocaráter 2 (em verde) e do 1 (em marrom), e presença de gás marcada em círculos amarelos.

Nessa linha sísmica (Fig.12), que está localizada mais ao norte do levantamento, é possível notar que o ecocaráter tipo 2 aparece nas partes mais

profundas (mais distantes da costa), provavelmente começando a sair do lobo deltaico, a partir dos 25 metros aproximadamente. O trecho restante representa o ecocaráter tipo 1, com a presença de gás marcada em círculos amarelos, e refletores plano-paralelos bem nítidos. Tal região sugere ser essa uma área de frente deltaica.

Sismoestratigrafia

A partir da análise sismoestratigráfica foram reconhecidas superfícies sísmicas nos registros que indicam momentos transgressivos e regressivos, e que permitiram individualizar duas unidades sísmicas do arcabouço estratigráfico.

As superfícies sísmicas foram nomeadas como S1 e S2. A superfície S1 aparece irregular nas regiões mais próximas à costa, sotoposta ao depósito deltaico, e eventualmente ela aflora nas partes mais profundas, tornando-se o fundo do mar atual. O sinal sísmico não mostrou boa penetração quando encontrou essa superfície, além disso, ela desaparece no registro quando há presença de gás no sedimento. Ela superfície foi interpretada como transgressiva, limitando, abaixo dela, depósitos pleistocênicos ou de mar baixo. Já a superfície S2 permitiu maior penetração do sinal acústico, e foi interpretada como regressiva. Nas partes mais próximas da costa ela representa o fundo do mar, e se estende até onde vão os depósitos regressivos, como se observa na Figura 13.

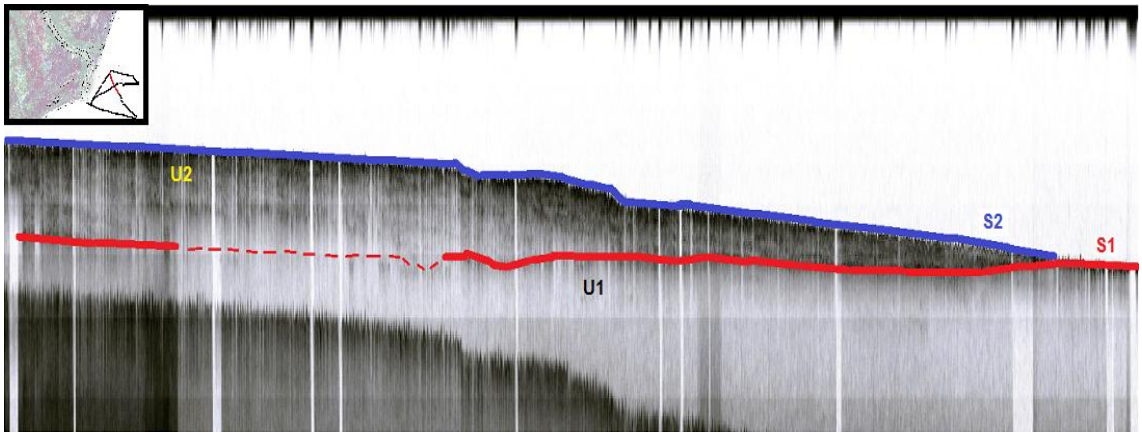


Figura 13: Linha sísmica (com localização indicada na porção superior esquerda) com indicação das superfícies e unidades sísmicas interpretadas.

Foram identificadas duas unidades sísmicas (U1 e U2). É válido mencionar que pela hierarquia sísmica, essas unidades aqui definidas poderiam ser tratadas

como fácies sísmicas, e subdividir cada fácie sísmica em mais sismo-unidades; entretanto, como não se sabe ao certo a escala temporal que está envolvida nesses registros sísmicos, optou-se por trabalhar com unidades sísmicas que representam momentos de nível relativo do mar.

A unidade sísmica (U1) aparece limitada no topo pela superfície transgressiva S1, e sua estratigrafia não é bem nítida, ora pela baixa penetração do sinal, ora pela limitação de visualização do método; sendo assim, não foi possível classificar o formato dessa unidade pela classificação das geometrias externas. A expressão sísmica dessa unidade está associada ao ecocaráter tipo 2, cuja penetração do sinal é baixa e não possibilita a identificação de estruturas internas. A unidade U1 foi interpretada como representante de depósitos de nível do mar baixo ou depósitos pleistocênicos.

O pacote sedimentar delimitado entre as superfícies sísmicas S1 e S2 foi reconhecido como unidade sísmica U2, que foi interpretado como representante dos depósitos regressivos do lobo deltaico do Rio Doce. As características dos registros sísmicos dessa unidade, por estar limitada no topo pela superfície S2 (que permitiu penetração do sinal sísmico), podem ser correlacionadas ao ecocaráter tipo 1, e portanto sua estratigrafia foi mais nitidamente visualizada; foi possível reconhecer refletores inclinados na forma de clinoformas sigmoidais com terminações em downlap sobre a superfície S1 (ver Fig. 14 e Fig. 15), o que indica a progradação costeira. A U2 possui geometria em forma de cunha, com o afinamento dos depósitos até que a superfície S1 aflore no fundo do mar, indicando assim um possível limite de ocorrência dos depósitos regressivos que formam o lobo deltaico do Rio Doce.

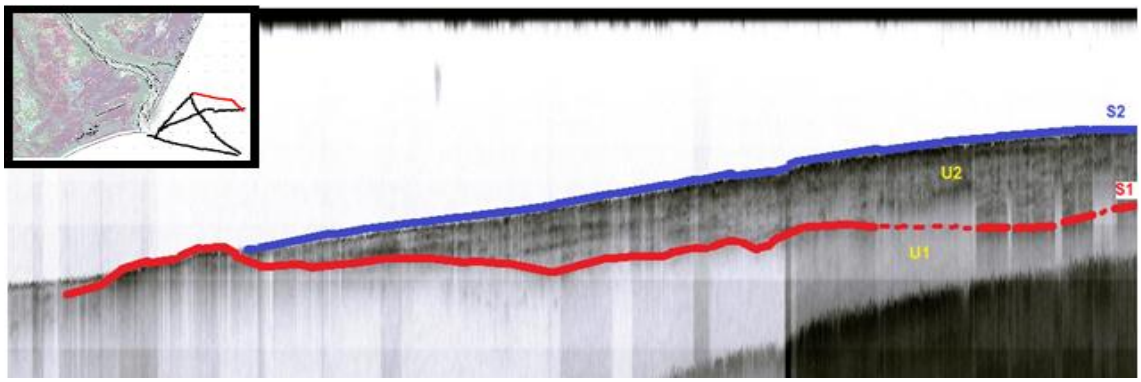


Figura 14: Interpretação da linha sísmica localizada ao norte. Indicações: Superfície S1 em vermelho; Superfície S2 em azul; Unidades sísmicas U1 (inferior) e U2. Clinoformas progradantes na U2 bem nítidas.

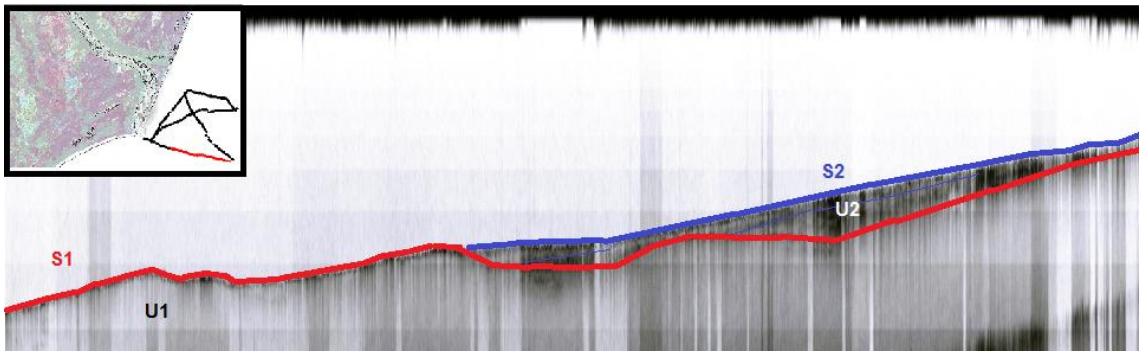


Figura 15: Interpretação e indicação das superfícies e unidades sísmicas. Reconhecimento da geometria em formato de cunha e de refletores inclinados sigmoidais.

É interessante destacar que a interpretação das superfícies e unidades sísmicas nos registros mostrou-se coerente com a distribuição dos ecocaráteres: a superfície S1associada ao ecocaráter tipo 2 e a superfície sísmica S2 associada ao ecocaráter tipo 1 (Fig. 16).

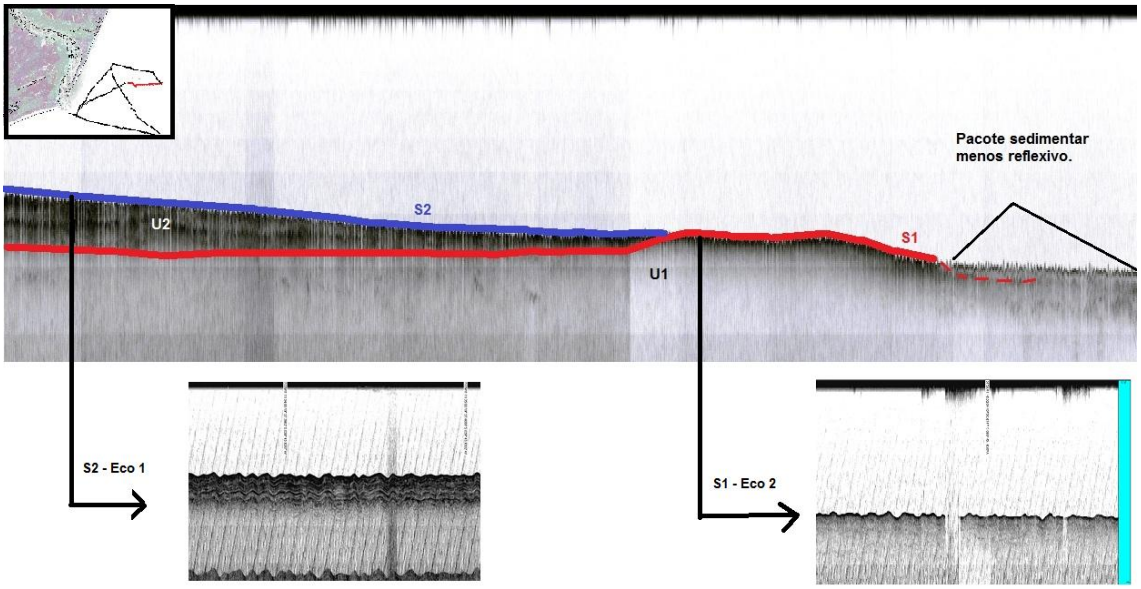


Figura 16: Interpretação de um transecto sísmico – SO/NE (localização indicada na parte superior esquerda da imagem). Indicação das superfícies, das unidades sísmicas encontradas, da relação com os tipos de eco, e de um pacote que foge das características padrões encontradas.

Na linha sísmica da Figura 16, aparece no final um pacote sedimentar menos reflexivo, no momento em que a superfície sísmica S1 parece mergulhar

novamente. Esse pequeno depósito registrado pode ser indicativo de alguns processos eventuais, entretanto, para uma avaliação mais precisa seriam necessários mais dados, como uma extensão dessa linha sísmica ou testemunhagens do pacote sedimentar nesse local.

Uma síntese das interpretações sísmicas feitas nesse trabalho é observada no modelo ilustrado na Figura 17, acompanhado do gráfico da curva de nível relativo do mar para a costa leste brasileira (Suguio et al, 1985).

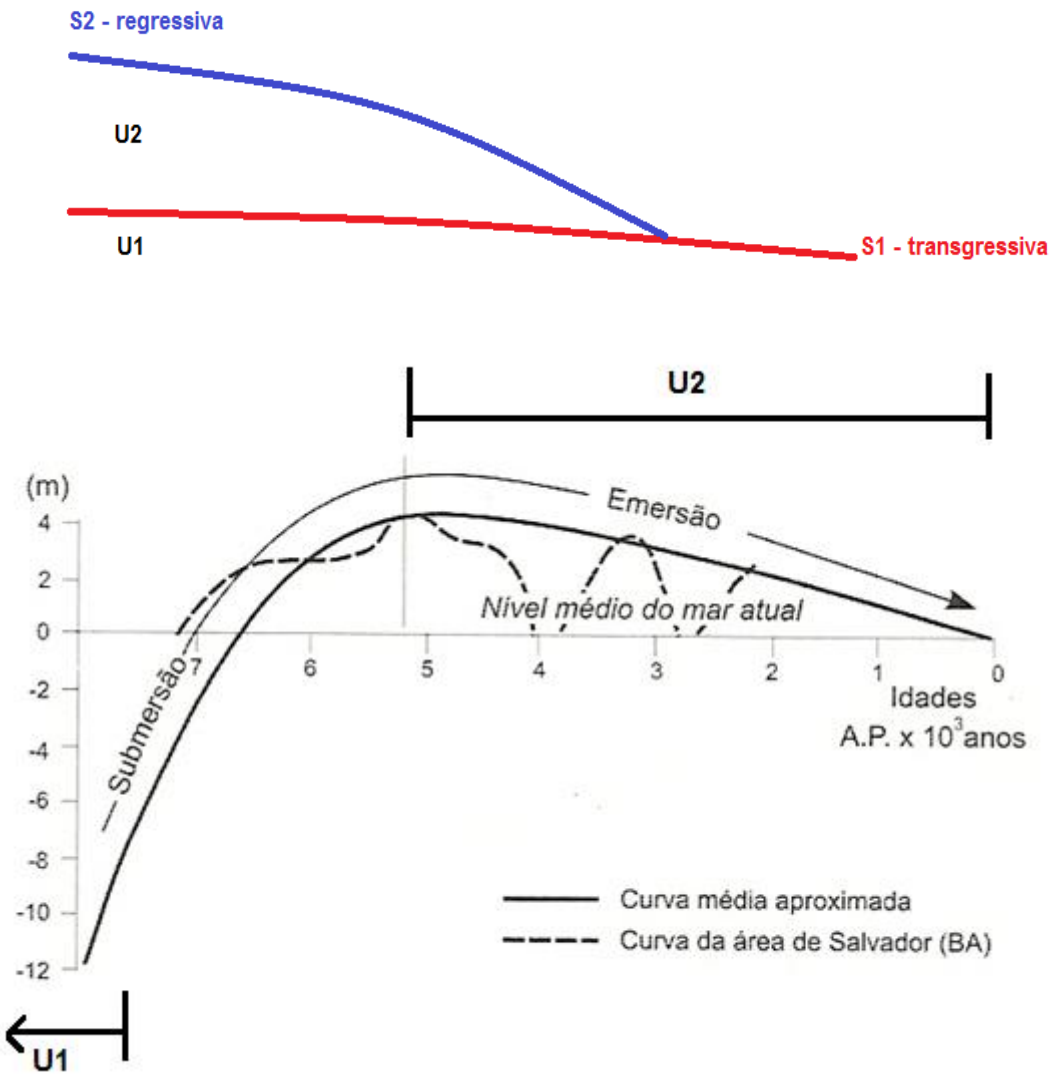


Figura 17: Esquema ilustrando o modelo de configuração das unidades sísmicas identificadas, acompanhado pelo gráfico da curva de paleoníveis relativos do mar com a indicação do período de formação das unidades sísmicas interpretadas (gráfico adaptado de Suguio et al., 1985).

Assim, o conceito aplicado nas interpretações é que a superfície S1, transgressiva, marca o limite dos depósitos de mar baixo, ou seja, abaixo dela estão os depósitos pleistocênicos (unidade sísmica U1). No período de rápida subida do nível relativo do mar não foi possível observar um registro sedimentar nos dados sísmicos analisados, ou por limitação do equipamento, ou por não ter ficado um depósito sedimentar. Com a descida do nível do mar, a influência da sedimentação oriunda do Rio Doce aumentou, e assim foi possível interpretar outra superfície sísmica, regressiva (S2). Assim, foi interpretado nesse trabalho que a unidade U2 possui aproximadamente 5000 anos, e é alimentada pelos sedimentos oriundos da desembocadura do Rio Doce, e eventualmente outros sedimentos retrabalhados de cordões litorâneos, enquanto a unidade U1, sendo pleistocênica, só continua sendo soterrada ou retrabalhada nas partes onde ela aflora (nas maiores profundidades), por sedimentos trabalhados por processos típicos de plataforma.

A partir de todas essas interpretações dos registros sísmicos, é possível realizar uma estimativa da extensão de ocorrência da unidade sísmica U2, cujo limite representa, nesta interpretação, até onde chegam os depósitos regressivos que formam o lobo deltaico do Rio Doce. Esse limite não forma necessariamente um desenho alinhado com a costa, pois as influências em cada região são diferentes (proximidade com desembocaduras de rios, Plataforma de Abrolhos, entre outros fatores).

Esse limite de ocorrência da U2 foi delineado sobre um mapa batimétrico da região (adaptado de Marangoni, 2009). Primeiramente observou-se no software SonarWizMap 4 as coordenadas do ponto no qual a superfície S1 aflora na superfície do fundo mar em cada linha sísmica; assim, foram plotados no mapa batimétrico essas coordenas, e posteriormente traçado o limite (linha pontilhada) dos depósitos regressivos da unidade sísmica U2 (mapa da Fig. 18).

A linha que representa o limite da extensão dos depósitos do lobo deltaico (U2) traçada no mapa batimétrico ficou restrita entre as isóbatas de 25 m e 30 m. Esse resultado é relativamente coerente, visto que as coordenadas marcadas no SonarWizMap 4 apresentaram os seguintes valores de profundidade: a) linha mais ao norte: 25,4 m; b) linha NO-SE: 30,5 m; c) linha SO-NE: 25,9 m; d)

linha mais ao sul: 27,3 m. Além disso, o limite traçado mostra relação com a distribuição dos ecocaráteres definidos anteriormente.

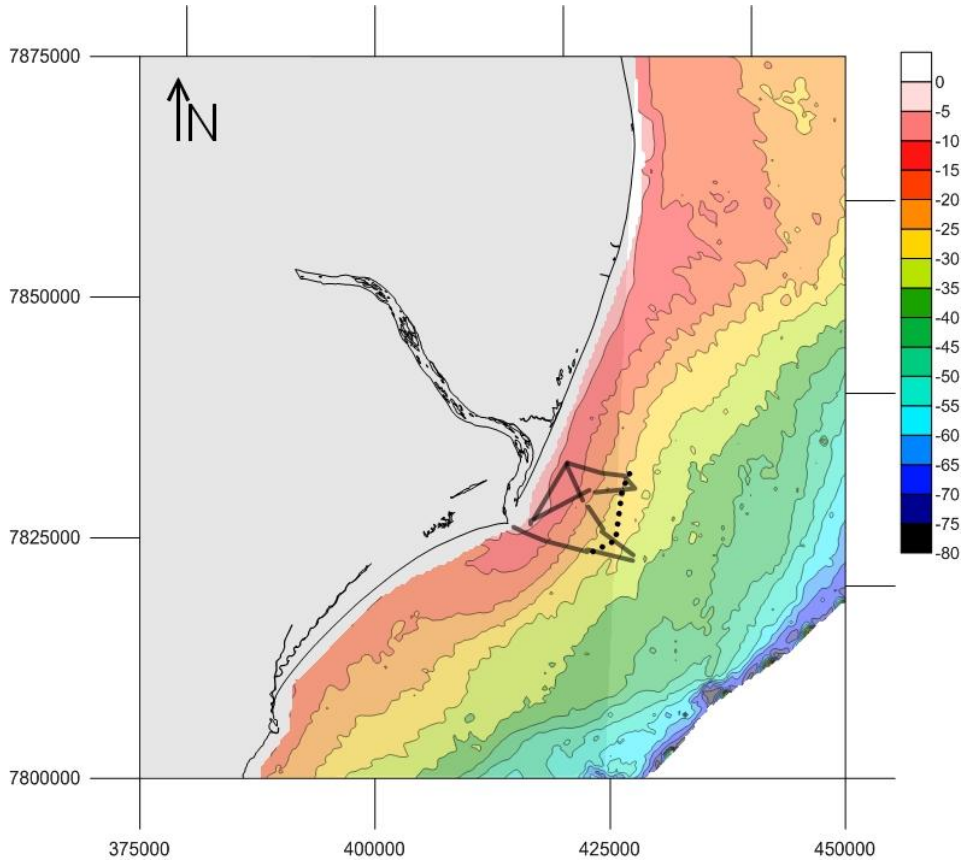


Figura 18: Mapa batimétrico (adaptado de Marangoni, 2009) com o limite de ocorrência dos depósitos regressivos traçado em pontilhado.

No estudo de Neil & Allison (2005), por meio da análise de transectos sísmicos e um conjunto de dados sedimentares (análise radioquímica, sedimentológica, e testemunhagem), os autores conseguiram definir o limite aproximado do delta submerso do Rio Atchafalaya (Louisiana, EUA). Nos registros sísmicos também apareceram as clinoformas progradantes e presença de gás nos sedimentos.

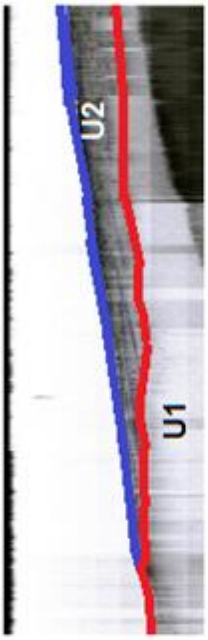
8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

• Foram identificados três padrões de ecocaráteres, que auxiliaram no entendimento dos processos sedimentares e foram correlacionados com a análise sismoestratigráfica.

• Os resultados dos teores de lama e de areia corroboraram os tipos de eco encontrados de acordo com a penetração do sinal.

• Foram reconhecidas duas superfícies sísmicas (S1 e S2), que foram interpretadas como a representação de dois momentos diferentes de nível relativo de mar – transgressivo e regressivo, respectivamente.

• A partir das superfícies S1 e S2, foi possível individualizar duas unidades sísmicas – U1 e U2.

Arcabouço estratigráfico analisado	Unidades sísmicas reconhecidas		Ecocaráter associado
	U1: representa os depósitos Pleistocênicos. Não foram reconhecidos refletores internos.		**Tipo 2:** reflexão superficial forte e baixa penetração do sinal acústico
	U2: representa um trato regressivo, associado ao maior poder de sedimentação deltaica. Estende-se até onde a U1 aflora na superfície marinha. Foram reconhecidos refletores inclinados progradantes, estruturas de gás e geometria em forma de cunha.		**Tipo 1:** Alta penetração do sinal; presença de vários refletores subsuperficiais e eventualmente estruturas de gás nos sedimentos.

• O limite de ocorrência de U2 foi traçado e interpretado como limite da extensão dos depósitos regressivos do lobo deltaico do Rio Doce, mostrando correlação com os ecocaráteres.

• É interessante que esse tipo de estudo seja realizado para outras partes da costa do Espírito Santo para verificar se esse padrão encontrado se estende para o sul e para o norte.

9 REFERÊNCIAS

ALVES, R.A. **Estudo sismoestratigráfico da Bacia do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1999

AYRES NETO, A. **Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina**. Rev. Bras. Geof., 2000

BHATTACHARYA, J.P.; GIOSAN, L. **Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction.** Sedimentology. 50. 2003. p.187-210.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: < http://www.riodoce.cbh.gov.br/ >

CRUZ, L.R. **Capítulo V: Interpretação e Correlações estratigráficas da sequência transicional.** Tese de Doutorado. PPGG/UFRN. 2008

DAMUTH, J.E. Echo character of western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and the distribution of the terrigenous sediments. **Mar. Geol**. 18:17–45. 1975

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. **O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos Rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ)**. Revista Brasileira de Geociências. 13(2): 98-105. São Paulo. 1983

DOMINGUEZ, J.M.L. **Deltas dominados por ondas: críticas às idéias atuais com referência particular ao modelo de Coleman & Wright**. Revista Brasileira de Geociências. 20(1-4): 352-361. 1990

ELLIOT, T. **Deltaic systems and their contribution to an understanding of basin-fill successions.** Geological Society, London, Special Publications; v. 41. p. 3-10. 1989

GROSSMANN, G.S. **Processamento e interpretação de dados sísmicos de Parasound no Delta Submarino do Amazonas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. Niterói, RJ. 2002.

LIQUETE, C.; CANALS, M.; DE MOL, B.; DE BATIST, M.; TRINCARDI, F. Quaternary stratal architecture of the Barcelona prodeltaic continental shelf (NW Mediterranean) **Marine Geology.** 250: 234-250. 2008

LOPES, A.L.M. **Análise da evolução sedimentar quaternária da Plataforma Continental Sul da Bacia de Campos com base em estratigrafia sísmica e sonografia**. Dissertação. UFF. 2004

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração.** Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos. 2009

MARTIN, L., SUGUIO, K. FLEXOR, J.M., ARCHANJO, J.D. **Coastal Quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil).** An. Acad. Bras. Cien. 68(3):389-404. 1996

MASSELINK, G.; HUGHES, M. G. **Introduction to coastal processes and geomorphology**. Ed. Arnold. London. 354 pp. 2003

MENDES, J.C. **Elementos de estratigrafia.** São Paulo: TAQ. 1984

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 Deposicional Sequences**. In: Payton, C.E. (ed.). Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. AAPG, Memoir 26, p. 117-133. 1977

MARANGONI, M.B. **Análise morfo-sedimentar da plataforma continental do Espírito Santo.** Monografia Oceanografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 2009

NEIL, C.F.; ALLISON, M.A. Subaqueous deltaic formation on the Atchafalaya Shelf, Louisiana. **Marine Geology.** 214: 411-430. 2005

PONTES, R.M. **Dobramentos distensionais e a geometria da falha de Baixa Grande, Graben de Umbuzeiro, Bacia Potiguar (RN).** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2005

POREBSKE, S.J.; STEEL, R.J. Deltas and sea-level change. **Journal of Sedimentary Research.** v. 76, 390-403. 2006

RIBEIRO, H. J. P. **Estratigrafia de seqüências – fundamentos e aplicações.** São Leopoldo, 2000.

SILVA, C.G; PATCHINEELAM, S.M.; BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A. **Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa.** In: Introdução à Geologia Marinha. Org. BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2004

SOUZA, L. A. P. de. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas.** Dissertação de mestrado – Mestrado em Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. **Evolução da planícies costeira do Rio Doce (ES) durante o Quaternário: Influência das flutuações do nível do mar**. Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil: 93-116. 1982

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.; AZEVEDO, A.E.G. de. **Flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira**. Revista Brasileira de Geociências. 15(4): 273-286. 1985

URIEN, C.M.; MARTINS, L.R.; MARTINS, I.R. **Paleoplataformas e Progradação deltaica do Neógeno na Margem Continental do Uruguai e Norte da Argentina**. GRAVEL. n.1 40-46. Porto Alegre, 2003