



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB.
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG.
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA – LGA.**

**MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS À LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS DE
GRANULADOS BIODETRÍTICOS E PALEOCANAIS NO LITORAL DA PARAÍBA, BRASIL.**

PATRÍCIA GOMES MONTEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 007

**BRASÍLIA – DF.
26 DE MARÇO DE 2010.**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB.
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG.
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA – LGA.

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS À LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS DE GRANULADOS BIODETRÍTICOS E PALEOCANAIS NO LITORAL DA PARAÍBA, BRASIL.

PATRÍCIA GOMES MONTEIRO

Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geofísica Aplicada.

Orientador

Marco Ianniruberto – UnB/IG.

Membro

Profa. Dra. Caroline Thaís Martinho – UnB/IG.

Membro

Prof. Dr. Luiz Antônio Pereira de Souza –
Instituto de Pesquisa e Tecnologia – IPT.

Suplente

Profa. Dra. Roberta Mary Vidotti – UnB/IG.

BRASÍLIA – DF.
26 DE MARÇO DE 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA

MONTEIRO, PATRÍCIA GOMES.

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS À LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS DE GRANULADOS BIODETRÍTICOS E PALEOCANAIS NO LITORAL DA PARAÍBA, BRASIL.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS. ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOFÍSICA APLICADA. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS. BRASÍLIA, DF. 2010.

1. PERFILADOR ACÚSTICO DE SUBFUNDO. 2. SONAR DE VARREDURA LATERAL. 3. PALEOCANAL. 4. GRANULADO BIODETRÍTICO. 5. PARAÍBA.

AGRADECIMENTOS

Embora seja um trabalho individual, não devo deixar de exaltar todos que contribuíram de maneira relevante para esta dissertação de mestrado. Meus sinceros agradecimentos:

À minha mãe que quando me via com aparência abatida, ou receosa pelas novas experiências que eu viveria, me olhava com ternura e sempre dizia uma palavra encorajadora. Ao meu pai por sua presença ou quando essa não era possível, por seus telefonemas, por seu carinho, preocupação e apoio.

Ao meu orientador Marco Ianniruberto, o mais cuidadoso que se poderia encontrar. Um professor por excelência, um amigo atencioso e compreensivo quanto às minhas limitações. Agradeço a ele a oportunidade de viver experiências tão novas e intensas. Obrigada pela confiança depositada em mim e o empenho dispensado na realização deste trabalho.

Aos amigos que cultivei, entre eles, certa dupla moradora de um “*kinder ovo*”, nela incluída Cesinha e uma pessoa especial para mim. Agradeço a você, Paulo Henrique (PH), pela companhia, apoio, papos, pela afinidade que nem eu sei explicar e principalmente pelo apoio à coleta de dados durante a segunda campanha de levantamento deste trabalho. Ao Vitto, pela participação na primeira campanha e agradecimentos póstumos ao Luis Pedro. À Erika, que sempre manteve contato por *e-mails* ou convites para almoço; Rafaella, que além de ter um geólogo como irmão, conquistou uma geóloga como amiga e admiradora; Flávio, Cristina Alves, Cristina Ferreira, Lucimeire, Cecília, Fabiano, Juliana, Thaís Becker, Fernanda, Ângela, Julia Curto, Loiane, Chris, Karina, Fabiana, Sandia, Danilo, Ana Carolina (minha amora), entre outros que acompanharam e viveram comigo a conclusão deste trabalho. Aos velhos amigos geólogos ou não, que a ausência física não conseguiu separar os laços já existentes e cuja enumeração aqui, tomaria páginas e páginas, devido à peculiaridade de cada um.

À minha família por compreender os momentos de ausência nos dias de sábado e domingo e me dirigir palavras de apoio.

Às entidades: Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG/UnB, Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Marinha do

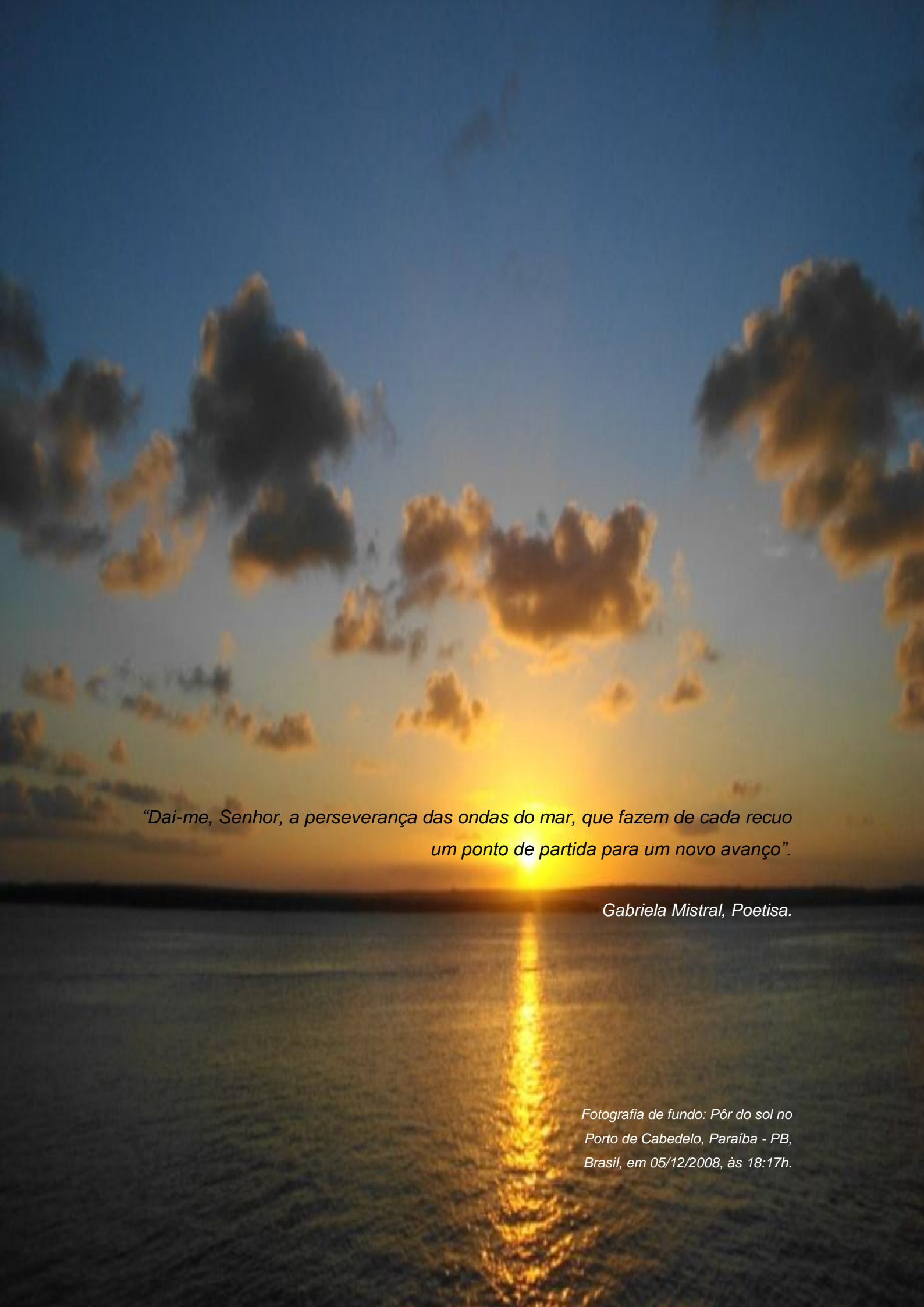
Brasil (Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN) e às agências de fomento à pesquisa que forneceram auxílio financeiro à realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Kaiser Gonçalves de Souza, chefe da Divisão de Geologia Marinha da CPRM/BRASÍLIA, à Hortencia Maria Barboza de Assis, coordenadora do Projeto de Levantamento da Plataforma Rasa do Brasil e Wanessa Souza Marques (CPRM/RECIFE) pelo material bibliográfico disponibilizado.

Aos professores do Instituto de Geociências da Universidade Brasília: Roberta Vidotti, Roberto Moraes, José Alvarenga e todos aqueles que lecionaram as disciplinas de pós-graduação em geociências no IG/UnB.

Obrigada!

Patrícia Gomes Monteiro.



“Dai-me, Senhor, a perseverança das ondas do mar, que fazem de cada recuo um ponto de partida para um novo avanço”.

Gabriela Mistral, Poetisa.

*Fotografia de fundo: Pôr do sol no
Porto de Cabedelo, Paraíba - PB,
Brasil, em 05/12/2008, às 18:17h.*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
<u>1. INTRODUÇÃO: CONTEXTO DOS RECURSOS MINERAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA</u>	1
1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	2
1.2. JUSTIFICATIVA	4
1.3. OBJETIVOS	6
1.4. MATERIAIS E MÉTODOS	7
1.4.1. VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA	7
1.4.2. MATERIAIS	7
1.4.3. MÉTODOS	8
1.4.3.1. FASE 1 – ETAPA PREPARATÓRIA	8
1.4.3.2. FASE 2 – ETAPA 1: EXECUÇÃO DE CAMPANHAS DE LEVANTAMENTO	9
DATUM	10
CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	10
OPERAÇÕES DE LANÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS NO MAR	13
EQUIPAMENTOS E QUALIDADE DOS DADOS	13
1.4.3.1. FASE 2 – ETAPA 2: PROCESSAMENTO DOS DADOS	14
1.4.3.2. FASE 3 – FINAL: CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO	14
<u>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	15
2.1. MORFODINÂMICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL	15
2.1.1. DINÂMICA DEPOSICIONAL DAS PLATAFORMAS CONTINENTAIS	16
2.1.1.1. DEPOSIÇÃO SILICICLÁSTICA	16
2.1.1.2. DEPOSIÇÃO CARBONÁTICA	16
2.1.2. REGIMES HIDRODINÂMICOS EM PLATAFORMAS CONTINENTAIS	17
2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO OCEANOGRÁFICO	17
2.2.1. FATORES DE INFLUÊNCIA DO CONTEXTO GEOLÓGICO	19
2.2.2. PROCESSOS TECTÔNICO-SEDIMENTARES ATUANTES NAS BACIAS SEDIMENTARES	19
2.2.3. A BACIA DA PLATAFORMA DE NATAL	22
2.2.4. A BACIA PARAÍBA	24
2.3. DEPÓSITOS MINERAIS MARINHOS	27
2.3.1. GRANULADOS MARINHOS	28
2.3.1.1. GRANULADOS BIODETRÍTICOS	28
PROSPECÇÃO	30
APLICAÇÕES	30
IMPACTOS AMBIENTAIS	31
2.3.1.2. GRANULADOS LITOCLÁSTICOS	31
PROSPECÇÃO	33
APLICAÇÕES	33
IMPACTOS AMBIENTAIS	33
2.3.2. PLACERES DE MINERAIS PESADOS	34
PROSPECÇÃO	37
IMPACTOS AMBIENTAIS	37

2.4. INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM ÁREA SUBMERSA	38
2.4.1. MÉTODOS DIRETOS DE INVESTIGAÇÃO	40
2.4.2. MÉTODOS GEOFÍSICOS INDIRETOS DE INVESTIGAÇÃO	41
CONCEITUAÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS	41
2.4.2.1. PERFILAGEM SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO	42
O MÉTODO	42
APLICAÇÕES	44
O EQUIPAMENTO	44
2.4.2.2. SONOGRAFIA DE VARREDURA LATERAL	46
O MÉTODO	46
APLICAÇÕES	48
O EQUIPAMENTO	49
3. RESULTADOS: INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO	52
<hr/>	
3.1. DADOS DE PERFILAGEM SÍSMICA (SBP)	52
3.2. DADOS DE SONOGRAFIA DE VARREDURA LATERAL (SSS)	54
3.3. INTEGRAÇÃO DE DADOS SÍSMICOS E SONOGRÁFICOS	59
3.3.1. ÁREA 1	59
OCORRÊNCIA Nº 1.1 (PALEOCANAIS RASOS)	59
OCORRÊNCIA Nº 1.2 (PALEOCANAIS)	61
OCORRÊNCIA Nº 1.3 (PALEOCANAIS PREENCHIDOS)	64
3.3.2. ÁREA 2	66
OCORRÊNCIA Nº 2.1 (BIOCLÁSTOS)	66
OCORRÊNCIA Nº 2.2 (TRANSIÇÃO)	70
OCORRÊNCIA Nº 2.3 (SEDIMENTOS FINOS)	72
OCORRÊNCIA Nº 2.4 (ONDULAÇÕES)	73
3.4. SUBSÍDIO A AMOSTRAGEM GEOLÓGICA	80
3.5. CORRELAÇÃO COM DADOS DISPONÍVEIS EM SIG, REFERENTES AO REMLAC	80
4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	84
<hr/>	
5. RECOMENDAÇÕES	86
<hr/>	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no litoral da Paraíba – PB, Brasil. _____	3
Figura 2 – Plataforma Continental Jurídica brasileira, com extensão da Zona Econômica Exclusiva (região verde claro) e limite da área pleiteada pelo Brasil a ONU, em 2004 (região azul). Modificado de Revista Parcerias Estratégicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Cgee, 2007. _____	5
Figura 3 – Zonas marítimas e suas relações com a topografia de fundo. As 200 milhas marítimas (370 km) marcam o limite da área sob jurisdição nacional e, portanto, livre para exploração. Modificado de Revista Parcerias Estratégicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Cgee, 2007). _____	6
Figura 4 – Diagrama de configuração do sistema de aquisição de dados e dos equipamentos geofísicos. _____	9
Figura 5 – Diagrama dos offsets de instalação e layback do sistema de posicionamento por satélite e dos equipamentos geofísicos. _____	10
Figura 6 – Configuração das portas seriais da console do SSS para recepção dos dados de navegação GPS. _____	11
Figura 7 – Configuração da frequência operativa e da distância de varredura lateral do SSS. _____	11
Figura 8 – Configuração das portas seriais da console do SSS para recepção dos dados de navegação GPS. _____	12
Figura 9 - Configuração da frequência chirp, ganho, duração e repetição dos pulsos do sistema SBP. _____	12
Figura 10 – Fluxograma de desenvolvimento das atividades. _____	14
Figura 11 – Regiões interna, média e externa da plataforma continental. Fonte: modificado de Wright (1995), apud Delpupo (2007). _____	15
Figura 12 – Curvas do nível do mar referentes ao Holoceno relativas à costa leste do Brasil. Em A, curva sólida: Corrêa (1990) apud. Curva pontilhada: Martin et al. (1979) apud Dillenburg et al. (2009). Curva tracejada: Ângulo & Lessa (1997) apud Dillenburg et al. (2009). Em B, curvas de nível do mar para o litoral brasileiro. Linha sólida: Costa a norte de 28° S e Linha tracejada: Costa a sul de 28°S. Modificado de Ângulo et al., 2006 apud Dillenburg et al. (2009). _____	18
Figura 13 – Compartimentação no continente controlada por grandes falhas e zonas de cisalhamento e a divisão das bacias sedimentares na região Nordeste brasileira. Notar abrangência da Plataforma de Natal e Bacia da Paraíba, onde se inserem as áreas estudadas. As quatro linhas sísmicas dispostas na plataforma são representadas na figura 14. Fonte: Modificado de Barbosa & Lima Filho (2006). _____	20
Figura 14 – Representação esquemática das linhas sísmicas apresentadas na figura 13. A linha A (adaptada de Alves & Costa, 1986, apud Barbosa & Lima Filho, 2006) corresponde à Bacia de Pernambuco, as linhas B e C (interpretadas por Barbosa & Lima Filho, 2006) correspondem à Bacia Paraíba e a linha D (interpretada por Barbosa & Lima Filho, 2006) corresponde à Plataforma de Natal. _____	21
Figura 15 – Posicionamento de seções geológicas na Faixa Recife-Natal, em A. As seções, em B, mostram o perfil da rampa na faixa costeira e o comportamento geral das unidades litoestratigráficas. As linhas sísmicas I, J e K são dados adicionais que afirmam a feição de rampa da plataforma nessa região. Fonte: Barbosa & Lima Filho (2006). _____	23
Figura 16 – Linhas sísmicas I, J, K, demarcadas na figura 15. A linha preta corresponde ao embasamento e a linha verde a transição (?) Cretáceo - Paleógeno. A profundidade é dada em segundos (s). Fonte: Barbosa & Lima Filho (2006). _____	24

Figura 17 – Localização das áreas de ocorrência de recursos minerais na Plataforma Continental Brasileira. Fonte: CPRM. _____	26
Figura 18 – Representação esquemática da margem continental e regiões adjacentes e localização de depósitos minerais. Fonte: Cook (1975), apud Martins (2007). _____	27
Figura 19 – Carta estratigráfica da faixa costeira Recife-Natal, a qual abrange o trecho estudado. Fonte: Barbosa et al. (2007). _____	28
Figura 20 – Bioclóstos. _____	29
Figura 21 – Ambientes de sedimentação costeira e principais depósitos arenosos associados. Alternâncias do nível relativo do mar expõem a plataforma continental durante o mar baixo. Os ambientes fluviais podem se estender até a quebra da plataforma e serem retrabalhados durante a elevação do nível do mar, remanescendo como paleocanais submersos e bancos arenosos submarinos. _____	32
Figura 22 – Perfil esquemático A-B marcado na figura 21. A seção mostra a disposição estratigráfica de uma seqüência sedimentar em ambiente costeiro. Fonte: modificado de Silva et al. (2000). _____	32
Figura 23 – Feições morfológicas em uma plataforma continental originadas por alternância do nível do mar, processos tectono-sedimentares e mudanças ambientais. Modificado de Seibold & Berger (1982). _____	35
Figura 24 – Gênese dos depósitos de minerais pesados durante avanço da linha de costa. (A) Depósitos fluviais e deltaicos, incluindo o canal fluvial e as barras arenosas submarinas na desembocadura do canal. (B) Estes são afogados pela transgressão marinha, permanecendo na plataforma continental como depósitos submersos que por sua vez são retrabalhados pela ação das correntes e ondas. Silva (2000). _____	35
Figura 25 – Amostrador de superfície Van Veen. _____	40
Figura 26 – Amostrador de fundo do tipo testemunhador. _____	41
Figura 27 – Transmissão (tx) e reflexão (rx) do sinal sísmico de acordo com a variação da impedância acústica das camadas abaixo do fundo. Fonte: Modificada de Ayres Neto (2000). _____	43
Figura 28 – Funcionamento de fontes acústicas. As ressonantes, como o Chirp, funcionam como emissores e receptores do sinal sísmico ao mesmo tempo, já as demais, como boomer e sparker necessitam de um receptor (hidrofonos). Fonte: Modificada de OzCoasts (2008), disponível em < http://www.ozcoasts.org.au/glossary/def_s-t.jsp >. _____	45
Figura 29 – Perfilador acústico de subfundo Benthos Chirp III. _____	46
Figura 30 – Tipos de sistemas de sonar de varredura lateral: os rebocados próximo ao fundo marinho (deep-town) e os rebocados próximo a superfície da água do mar (shallow-town). Fonte: Modificado de Ayres Neto (2000). _____	47
Figura 31 – Figura esquemática da cobertura do sonar de varredura lateral. Fonte: Ayres Neto (2000). _____	48
Figura 32 – A distância x entre os pontos A e B é a mesma distância x entre os pontos C e D quando o sensor está posicionado verticalmente. Da mesma forma, os tempos de viagem TA e TB serão semelhantes, bem como TC e TD. _____	50
Figura 33 – Sonar de varredura lateral fabricado pela empresa Edgetech, utilizado neste trabalho. _____	51
Figura 34 – Disposição de perfis sísmicos nas Áreas 1 e 2 de trabalho. _____	53
Figura 35 – Em A) Conjunto de perfis sísmicos obtidos com o perfilador acústico de subfundo na área 1 do Projeto Paraíba e em B) Linhas de interesse selecionadas dentre as primeiras. _____	54
Figura 36 – Em A) Conjunto de perfis sísmicos obtidos com o perfilador acústico de subfundo na área 2 do Projeto Paraíba e em B) Linhas de interesse selecionadas dentre	

as primeiras.	54
Figura 37 – Disposição das áreas de trabalho e respectivas regiões de cobertura das linhas referentes ao levantamento com o sonar de varredura lateral na plataforma da Paraíba.	56
Figura 38 – Em A) Mosaico gerado com o conjunto de registros do sonar de varredura lateral na área 1 do Projeto Paraíba e em B) Digitalização da interpretação dos registros originais, destacando em azul as manchas sinuosas, claras e escuras, denominadas aqui como ondulações. Escala dada em metros.	57
Figura 39 – Em A) Mosaico gerado com o conjunto de registros do sonar de varredura lateral na área 2 do Projeto Paraíba e em B) Digitalização da interpretação dos registros originais. Escala dada em metros.	58
Figura 40 – Figura esquemática da região de canal submerso, na área 1 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).	61
Figura 41 – Figura esquemática de região de paleocanal, na área 1 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).	62
Figura 42 – Reflexões múltiplas dos sinais acústicos, a qual inibe a identificação das reflexões correlacionáveis aos estratos sedimentares. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).	64
Figura 43 – Região de paleocanais preenchidos, na área 1 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).	65
Figura 44 – Registro sonográfico e sísmico da região de bioclóstos, na área 2 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.	68
Figura 45 – Outro trecho da mesma área exposta na figura anterior. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.	69
Figura 46 – Canais encontrados dentro dos limites da região de existência de biodetritos, na área 2 de pesquisa.	70
Figura 47 – Registros geofísicos da região de transição de sedimentos grossos e finos, na área 2 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.	71
Figura 48 – Ecocaráter de sedimentos finos, na área 2 de trabalho. Esta região ilustra ainda os refletores acústicos de subsuperfície identificados. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.	73
Figura 49 – Região de alternância de manchas claras e escuras e sinuosas, classificada, neste trabalho, como ondulações. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.	75
Figura 50 – Mapa de pontos estratégicos para coleta de amostras geológicas e correlação com dados geofísicos. O posicionamento dos pontos de maior interesse é ilustrado com as respectivas coordenadas em graus decimais.	81
Figura 51 – Mapa de Geologia dos depósitos superficiais. Datum WGS 1984. Fonte: Base de dados em ambiente SIG referente ao mapa de Potencialidade dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes (Souza K. G., 2008).	82
Figura 52 – Mapa de ocorrências e recursos minerais na margem continental da Paraíba,	

Brasil. Datum WGS 1984. Fonte: Base de dados em ambiente SIG referente ao mapa de Potencialidade dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes (Souza K. G., 2008). _____

83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas geográfica e planimétrica (UTM) dos vértices constituintes das áreas de estudo. _____	2
Tabela 2 – Resumo dos métodos diretos e geofísicos indiretos e os respectivos equipamentos e aplicações destinados à pesquisa mineral geológica. Modificado de Ayres Neto (2000). _____	39
Tabela 3 – Identificação dos tipos de ecocaráter superficial com base nos registros geofísicos observados com o perfilador acústico de subfundo e os padrões de reflexão do sonar de varredura lateral nas áreas 1 e 2. _____	76

RESUMO

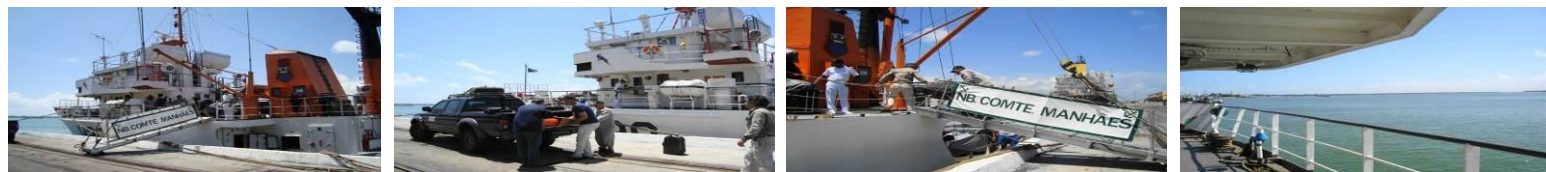
Neste trabalho, métodos geofísicos de perfilagem acústica de subfundo e sonografia de varredura lateral foram empregados para a investigação mineral marinha em duas áreas de aproximadamente 100 km² cada, localizadas na plataforma continental interna, na Margem Equatorial Atlântica, ao largo do estado da Paraíba, na região Nordeste brasileira. A investigação foi destinada à localização de paleocanais e granulados biodetríticos. A perfilagem sísmica de subfundo é um método acústico para mapear estruturas subsuperficiais associadas a antigos canais fluviais (paleocanais) na plataforma continental, bem como identificar diferentes tipos de sedimentos por meio de ecocaráter e mostrar a disposição estrutural e a espessura de camadas sedimentares. A sonografia de varredura lateral é um método acústico de investigação da morfologia do fundo marinho e pode indicar a localização de áreas propensas à deposição de granulados biodetríticos. A realização deste trabalho visa contribuir com informações detalhadas, em escala 1:10.000, para o Programa de Reconhecimento dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Brasileira (REMLAC), executado em escala 1:2.500.000 pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Este trabalho subsidia a identificação e estudo de sítios potenciais para a ocorrência de recursos minerais marinhos, visando a delimitação de possíveis jazidas e o domínio do conhecimento das riquezas marinhas brasileiras perante outras nações. Os resultados dos levantamentos geofísicos foram correlacionados com dados bibliográficos de geologia e com os obtidos por meio do REMLAC. Dessa forma, a interpretação dos registros de sonar de varredura lateral e perfilagem acústica de subfundo indicam a área 1 de pesquisa como a favorável a deposição de minerais pesados em paleocanais existentes em meio a um substrato marinho de sedimentos grossos (areias e cascalho). Já na área 2, além dos paleocanais mapeados, foi notada uma região de acúmulo de material biodetrítico, constituinte de depósitos de granulados bioclásticos. Os dados deste trabalho são preliminares para novos levantamentos a fim de determinar a quantidade de minério de possíveis jazidas em áreas de interesse. A configuração e metodologia do levantamento geofísico executado podem ser aprimoradas e esta amostragem indireta pode ser subsidiada pela amostragem geológica em pontos estratégicos das áreas, para possível confecção de um mapa de detalhe da geologia da área mapeada.

Palavras-chave: perfilador acústico de subfundo, sonar de varredura lateral, paleocanal, granulado biodetrítico, Paraíba.

ABSTRACT

In this work, geophysical methods of acoustic sub-bottom profiling and side-scan sonar were used for marine mineral research in two areas of approximately 100 km² each, located on the inner shelf, in the Equatorial Atlantic margin, offshore the state of Paraíba, in Northeast Brazil. The research was aimed at locating of paleochannels and biotritical granules. The sub-bottom seismic profiling is the acoustic method to map subsurface structures associated with ancient river channels (paleochannels) on the continental shelf, and identify different types of sediment through echocharacter and show the structural layout and thickness of sedimentary layers. The side-scan sonar is an acoustic method of investigation of the morphology of the seabed and may indicate the location of areas prone to deposition of aggregates biotritus. This work aims to contribute with detailed informations, on the scale of 1:10.000, for the Recognition Program Mineral Resources of the Brazilian Continental Shelf (REMLAC), running on the 1:2.500.000 scale by Geological Survey of Brazil - CPRM. This work subsidizes the identification and study of potential sites for the occurrence of marine mineral resources, aiming at delineation of possible deposits and the domain knowledge of marine resources in Brazil to other nations. The results of geophysical surveys were correlated with geology and bibliographic data with those obtained through REMLAC. Thus, the interpretation of records of side-scan sonar and sub-bottom acoustic profiling indicate the search area 1 as favorable to the deposition of heavy minerals in paleochannels existing in the midst of a marine substrate of coarse sediments (sand and gravel). In the area 2, in addition to paleochannels mapped, was noted a region of accumulation of material biotritus, a constituent of granular bioclastic deposits. The data from this study are preliminary for new surveys to determine the amount of potential ore deposits in areas of interest. The configuration and methodology of the geophysical survey carried out can be improved and this indirectly sample can be subsidized by geological sampling in strategic areas for possible construction of a map detail of the area mapped.

Keywords: acoustic sub-bottom profiler, side scan sonar, paleochannel, granular biotritical, shelf, Paraíba, Brazil.



1. INTRODUÇÃO: CONTEXTO DOS RECURSOS MINERAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

Este trabalho propõe a aplicação de métodos geofísicos integrados a dados geológicos a fim de localizar depósitos minerais marinhos na plataforma continental brasileira. O enfoque é dado a depósitos de granulados biotróficos e paleocanais propensos a deposição aluvionar de minerais pesados em duas áreas de aproximadamente 100 km² cada uma, na plataforma continental rasa do estado da Paraíba, Brasil (Figura 1).

Os métodos geofísicos a serem empregados são a sonografia de varredura lateral e a perfilagem sísmica de subfundo. A sonografia de varredura lateral é um método acústico que auxilia a investigação da morfologia do fundo marinho e pode indicar a localização de áreas propensas à deposição de granulados biotróficos. A perfilagem sísmica de subfundo é um método acústico para mapear estruturas subsuperficiais associadas a antigos canais fluviais (paleocanais) na plataforma continental, identificar diferentes tipos de sedimentos por meio de ecocaráter e mostrar a disposição estrutural e a espessura de camadas sedimentares.

Ambos os métodos usam a emissão, propagação e reflexão de ondas acústicas à medida que atravessam meios físicos de propriedades elásticas distintas, ou seja, a coluna d'água e as camadas sedimentares. Por meio da amplitude do sinal de retorno é possível classificar os diferentes tipos de sedimentos e correlacionar a intensidade do eco com o tipo de cobertura sedimentar do fundo do mar, o que contribui para a análise de áreas de potencial mineral.

A delimitação das duas áreas de trabalho decorreu da existência de dados pretéritos obtidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM os quais sugeriam a existência de depósitos minerais nessas áreas. Já a escolha dos métodos de investigação acústicos foi justificada pela baixa absorção das ondas acústicas pela água do mar, o que torna viável a adoção da sonografia e perfilagem, a fim de individualizar as feições alvo da pesquisa. Salieta-se que os métodos eletromagnéticos sofrem alta atenuação do sinal, causado pelo elevado coeficiente de absorção da água do mar, o que limita o alcance e aplicabilidade deles.

Além da escolha dos equipamentos, a adequada metodologia do levantamento influencia a identificação das concentrações minerais na margem continental do Brasil. Para a identificação de depósitos de granulados marinhos, Ayres Neto (2000) recomenda o uso do sonar de varredura lateral com escolha de parâmetros de varredura adequados para garantir o recobrimento de 100% do fundo marinho e superposição de 50%.

Já para identificação de paleocanais associados à plácemes, é recomendada uma malha para amostragem compatível com o tamanho das estruturas de subsuperfície. A

identificação de depósitos de placeres exige ainda a escolha certa da frequência do equipamento a ser utilizado. Ela deve ser compatível com o tipo de sedimento de fundo, a penetração do sinal e a resolução vertical desejada.

A execução do projeto deve-se a parceria entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Universidade de Brasília (UnB) e a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O conhecimento da geologia da margem continental brasileira delimita, a princípio, locais favoráveis à pesquisa. Foram escolhidas duas áreas de aproximadamente 100 km² cada uma, localizadas no litoral da Paraíba, Brasil (Figura 1). A área 1 situa-se próximo ao estado do Rio Grande do Norte, contíguo aos municípios de Mataraca e Baía da Traição, na Paraíba. A área 2, próxima ao Porto de Cabedelo, adjacente aos municípios de Rio Tinto, Lucena, Santa Rita, Cabedelo e João Pessoa, na Paraíba. Ambas as áreas estão em regiões de curvas isobatimétricas entre 10 e 25 metros, numa região caracterizada pela presença de recifes e de intensa atividade pesqueira. As coordenadas geográficas e UTM, referentes à delimitação das áreas, estão na tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas geográfica e planimétrica (UTM) dos vértices constituintes das áreas de estudo.

Vértice	LAT	LONG	N	E	M.C.
1	-6 32 03,60713	-34 56 31,57080	9277313,947	285246,790	-33
2	-6 32 03,60713	-34 50 38,87106	9277354,711	296084,089	-33
3	-6 38 02,49460	-34 50 38,87106	9266328,811	296124,795	-33
4	-6 38 02,91741	-34 56 31,45232	9266274,460	285293,354	-33
5	-6 51 36,42219	-34 49 10,73287	9241333,158	298925, 691	-33
6	-6 51 36,42219	-34 43 18,03313	9241373,146	309755,064	-33
7	-6 57 35,30966	-34 43 18,03313	9230347,832	309794,935	-33
8	-6 57 35,73247	-34 49 10,61443	9230294,299	298971,520	-33

1.2. JUSTIFICATIVA

A Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos Marinhos (CNUDM) estabelece direitos e deveres sobre espaços oceânicos e regulamenta todas as atividades relacionadas a eles. Essa regulamentação faz-se necessária para a exploração de recursos minerais marinhos em áreas internacionais, já que tais riquezas poderiam ser apropriadas apenas por potências detentoras de recursos econômicos e tecnologia adequada para execução desta atividade, em detrimento de nações em desenvolvimento (Pereira & Souza, 2007).

A CNUDM declara a Zona Internacional do Leito Marinho, denominada “Área”, e seus recursos como Patrimônio Comum da Humanidade e cria a Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (ISBA). Esta última é a organização por intermédio da qual os Estados Partes organizam e controlam as atividades na “Área”, principalmente a gestão de seus recursos minerais (Souza *et al.*, 2007).

O Brasil, assim como todos os Estados Partes da CNUDM, tem o direito de explorar os recursos minerais da “Área”. Pela Convenção sobre o Direito do Mar, o Estado costeiro pode pleitear a expansão da sua Plataforma Costeira até o limite de 350 milhas náuticas (648 km), observando-se alguns parâmetros técnicos. Dessa forma, o Brasil submeteu a ONU, em Setembro de 2004, a expansão de 1.000.000 km² da Plataforma Continental situada além de sua Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que tem como limite 200 milhas náuticas (370 km) a partir do litoral continental (Figura 2). O pleito propõe uma expansão da ZEE correspondente a 7,54% do território nacional. Após concessão, esta região (em azul, na figura 2) pode ser considerada parte do território brasileiro. A extensão da Zona Econômica Exclusiva somada à extensão territorial pleiteada totaliza uma área aproximada de 4.500.000 km², a qual representa mais da metade do território emerso brasileiro, que possui 8.500.000 km² (em laranja, na figura 2) (Souza *et al.*, 2007).

O Mar Territorial, a Zona Contígua, a Zona Econômica Exclusiva e a Plataforma Continental (Figuras 2 e 3) compõem o espaço marinho brasileiro. Apesar da expressiva extensão, tais áreas, sob jurisdição brasileira e de exploração exclusiva, permanecem pouco conhecidas quanto à potencialidade de seus recursos minerais. Portanto, o domínio do conhecimento consistente e aprofundado para exploração dos recursos minerais marinhos é, de importância fundamental para o desenvolvimento do país sob o ponto de vista econômico e político-estratégico (Souza *et al.*, 2007). A riqueza desperta cobiça e cabe ao seu detentor o ônus de protegê-la.

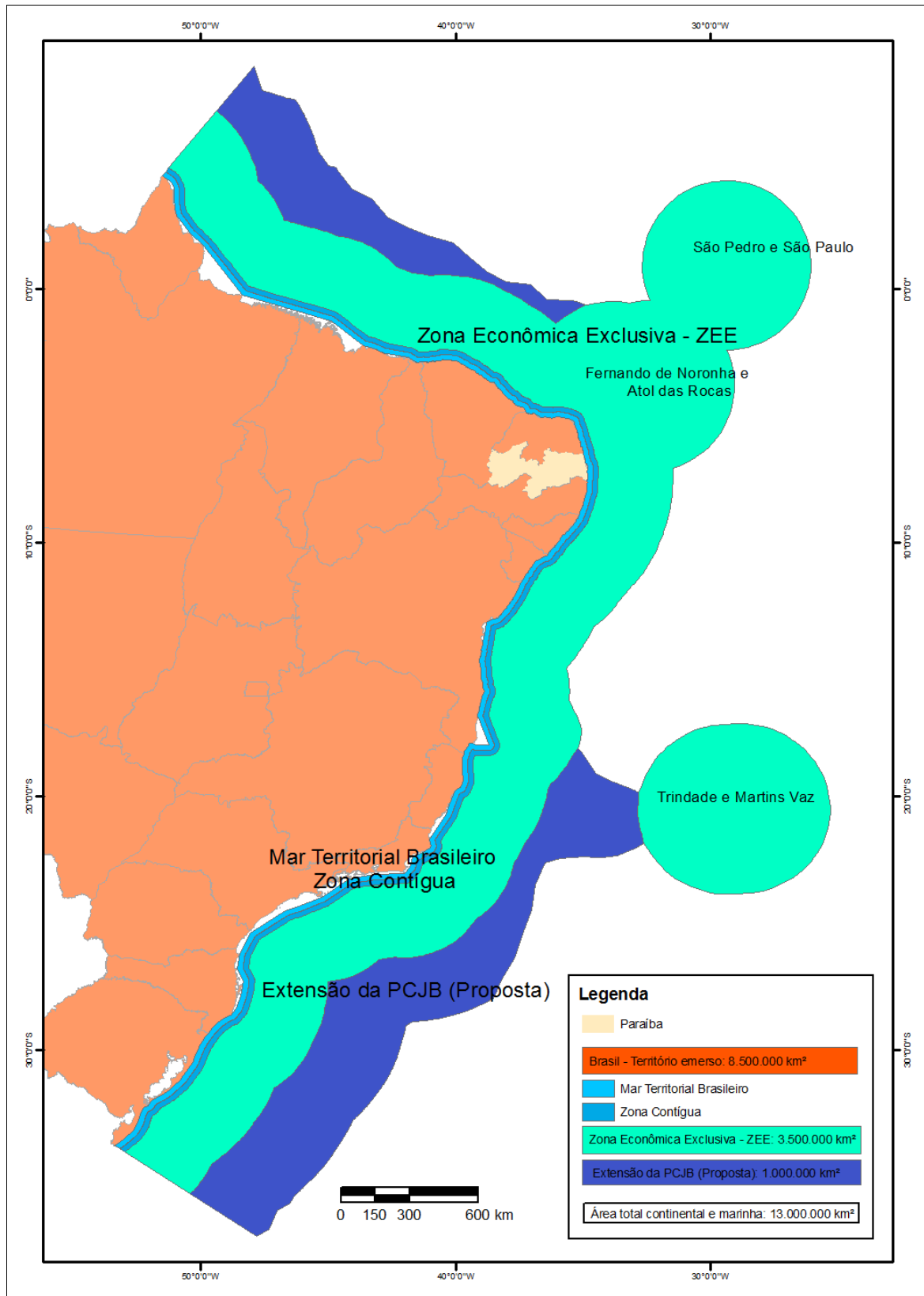


Figura 2 – Plataforma Continental Jurídica brasileira, com extensão da Zona Econômica Exclusiva (região verde claro) e limite da área pleiteada pelo Brasil a ONU, em 2004 (região azul). Modificado de Souza *et al.* (2007).

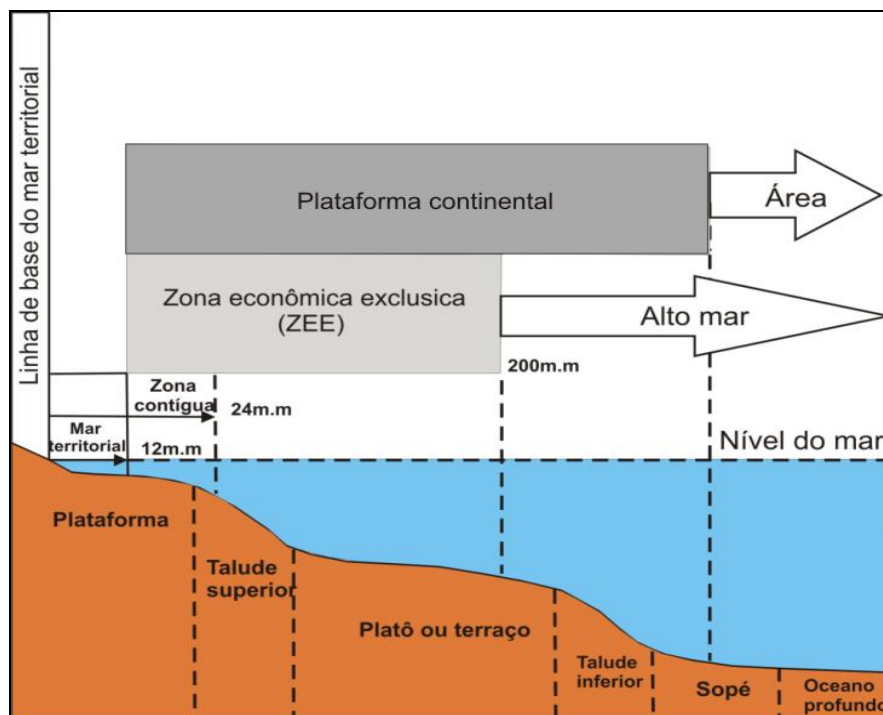


Figura 3 – Zonas marítimas e suas relações com a topografia de fundo. As 200 milhas marítimas (370 km) marcam o limite da área sob jurisdição nacional e, portanto, livre para exploração. Modificado de Martins (2007).

1.3. OBJETIVOS

Esta dissertação de mestrado alcançou seu objetivo por meio de estágios intermediários. Foram eles: a localização de feições associadas a antigos canais fluviais, ou seja, paleocanais relacionados à deposição pretérita de minerais pesados, e o mapeamento da variação de distribuição superficial de sedimentos no assoalho marinho, bem como a morfologia deste, possibilitando a distinção de áreas sujeitas ao acúmulo de granulados biodetríticos.

O cumprimento desses estágios intermediários foi condicionado ao uso de equipamentos geofísicos de investigação marinha (perfilador acústico de subfundo para o primeiro item e o sonar de varredura lateral para o segundo item) e condicionado à correlação dos registros dos levantamentos com a geologia local.

Por fim, os resultados, em escala de detalhe (1:10.000), poderão fornecer informações que contribuirão com os estudos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, que mapeia os recursos minerais marinhos da plataforma continental brasileira; bem como servirem de subsídio ao domínio de conhecimento das riquezas marinhas brasileiras perante outras nações. Por meio do Programa de Reconhecimento dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Brasileira (REMPLOC), a CPRM objetiva a identificação e estudo de sítios potenciais para a ocorrência de recursos minerais marinhos, visando a delimitação de possíveis jazidas. A síntese das informações e resultados já alcançados pelo programa

foram disponibilizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), no *site* da CPRM, em escala 1:2.500.000.

1.4. MATERIAIS E MÉTODOS

1.4.1. VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA

A parceria entre a Universidade de Brasília (UnB), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil permitiu a viabilidade e disponibilidade de recursos técnico-financeiros para o projeto.

1.4.2. MATERIAIS

O Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) da UnB e a CPRM disponibilizaram os seguintes equipamentos para a execução do projeto:

- Sonar de Varredura Lateral *Edgetech* 4100 portátil com sensor TD272 de dupla frequência (100 - 500 kHz) e resolução de 0.5 - 1.2° (SSS) (Figura 4);
- Perfilador de subfundo *Benthos Chip III* com banda de frequência 2 - 7 kHz (SBP) (Figura 4);
- GPS *Trimble* DSM 232, 12 canais e dupla frequência (L1/L2);
- Suíte de navegação e aquisição de dados *Hypack*;
- Suíte de aquisição de dados sonar *SonarWiz.Map4*.

Os *softwares* para auxílio à aquisição, processamento, interpretação e avaliação dos dados coletados estão disponíveis no LGA da Universidade de Brasília – UnB. São eles, entre outros, conforme necessidade:

- *SonarWiz.Map4* da *Chesapeake Technology*: *software* hidrográfico aplicado na aquisição e processamento de dados referentes ao perfilador acústico de subfundo e sonar de varredura lateral;
- *Hypack*: *software* hidrográfico que funciona como interface com o GPS e permite o planejamento das linhas de navegação a serem seguidas no levantamento;
- *ArcGis 9.2 (ESRI)*: SIG com função de criação, gestão, análise e disseminação de dados geoespaciais.

A DHN forneceu os navios, conforme convênio de cooperação técnico-científico, firmado entre CPRM e DHN.

1.4.3. MÉTODOS

O trabalho para a confecção da dissertação foi realizado em três fases. Foram elas:

1.4.3.1. FASE 1 – ETAPA PREPARATÓRIA

Esta etapa referiu-se à análise, refinamento, registro de dados pretéritos e compilação de acervo bibliográfico disponível sobre o tema. Incluiu ainda a mobilização, ou seja, a implantação física do projeto (translado de equipamentos e pessoas) e demais atividades operacionais, bem como o planejamento do levantamento. Para este último, levou-se em consideração a extensão das duas áreas e o tempo disponível.

Foram feitos dois planejamentos de malhas para o mapeamento das áreas de estudo. No primeiro, em campanha realizada em 06/12/2008 a 19/12/2008 com o uso do perfilador acústico de subfundo, na área 2 do projeto, foi projetada uma malha com perfis orientados NS, espaçados 200 metros e perfis orientados EW, espaçados 500 metros um do outro. Já na segunda campanha, realizada em 17/10/2009 a 31/10/2009, com o uso do sonar de varredura lateral nas áreas 1 e 2, foi programado um espaçamento entre as seções NS de 300 metros e de 500 metros entre as EW.

O espaçamento das linhas de levantamento foi definido considerando o tempo disponível para cada campanha.

Foram estimados, na primeira campanha, 5 dias de levantamentos, totalizando 400 quilômetros lineares de perfis, visando cobrir 100% da área e operando 24h por dia. Na segunda campanha foram planejados 6 dias de levantamentos.

A velocidade média de navegação foi de 5 nós e cerca de 10 minutos para mudança de linha de navegação, porém, os números mencionados corresponderam aos planejados. Quando a atividade fosse posta em prática esses poderia distoar. Não foram considerados eventos adversos como falhas técnicas ou condições meteorológicas e marinhas, fatores estes que poderiam contribuir para a diminuição do tempo disponível para execução das atividades.

1.4.3.2. FASE 2 – ETAPA 1: EXECUÇÃO DE CAMPANHAS DE LEVANTAMENTO

As campanhas foram realizadas em áreas escolhidas durante a fase de análise preliminar, utilizando equipamentos adequados à avaliação e definição dos aspectos geomorfológicos, estratigráficos e sedimentológicos da região. Dentre os equipamentos estão: o sonar de varredura lateral e o perfilador de subfundo *Chirp III*.

Para a execução do levantamento, os equipamentos, previamente testados em laboratório, foram instalados a bordo do Navio Balizador “Comandante Manhães”, da Marinha do Brasil. Após a instalação foram configurados e novamente testados. A figura 4 mostra a configuração das conexões, via porta serial RS232, entre os sistemas de aquisição de dados e o sistema de navegação GPS. Os afastamentos dos sensores relativamente à posição da antena GPS, localizando o ponto de reboque (*tow-point*) na popa e a estimativa da distância de reboque (*layback*) são ilustrados na figura 5.

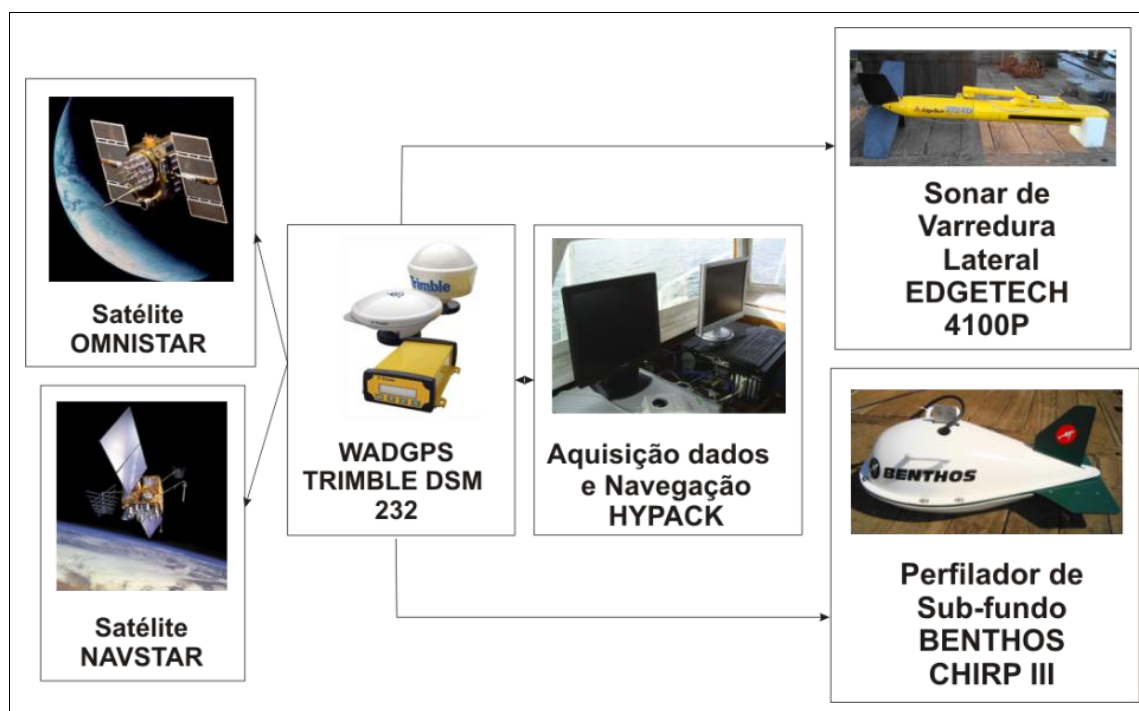


Figura 4 – Diagrama de configuração do sistema de aquisição de dados e dos equipamentos geofísicos.

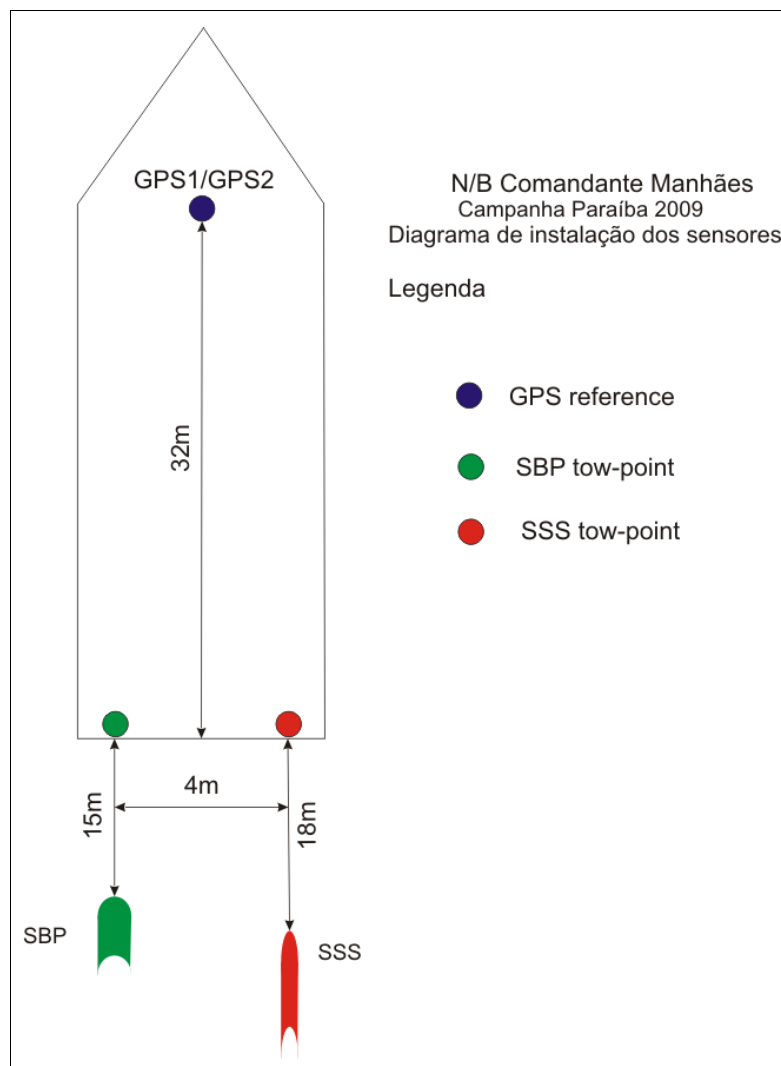


Figura 5 – Diagrama dos *offsets* de instalação e *layback* do sistema de posicionamento por satélite e dos equipamentos geofísicos.

DATUM

Para a aquisição dos dados, foi usado como referencial geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS). O Datum geodésico SIRGAS tem como origem os parâmetros do elipsóide *World Geodetic System* (WGS 84).

CONFIGURAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

- GPS: Os sistemas GPS *Trimble* DSM232 foram configurados para transmitir, nas portas seriais, dados no padrão NMEA 183 de forma a repassar as coordenadas geográficas WGS84 para os sensores utilizados no levantamento. Junto ao padrão

NMEA, foram configuradas as sentenças GGA e VTG, com velocidade da porta serial de 9600 *baud* e frequência de 1 Hz.

- b) Sonar de varredura lateral (SSS): Para o georreferenciamento em tempo real dos dados do SSS, foi inicialmente configurada a porta serial para a recepção das coordenadas GPS, conforme indicado na figura 6 seguinte.

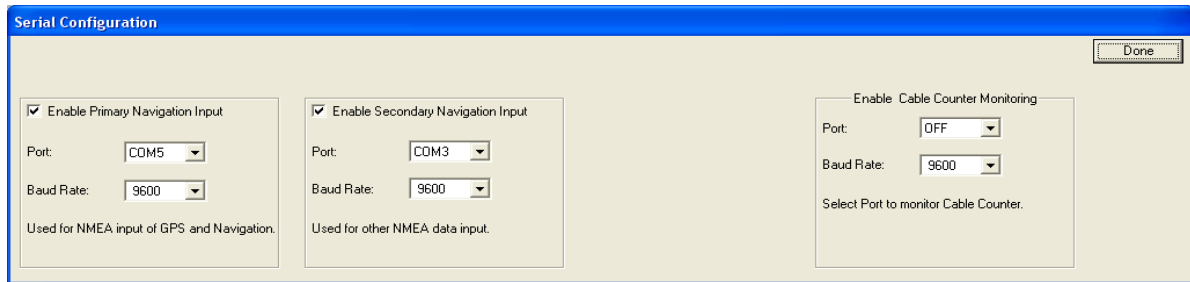


Figura 6 – Configuração das portas seriais da console do SSS para recepção dos dados de navegação GPS.

Considerando que o afastamento entre as linhas de navegação foi de 300 metros, foram definidos como parâmetros de varredura, a frequência de 100 kHz e a distância de varredura lateral de 200 metros. Com tais parâmetros foi possível garantir a redundância de cobertura, necessária entre os registros relativos a linhas adjacentes (Figura 7).

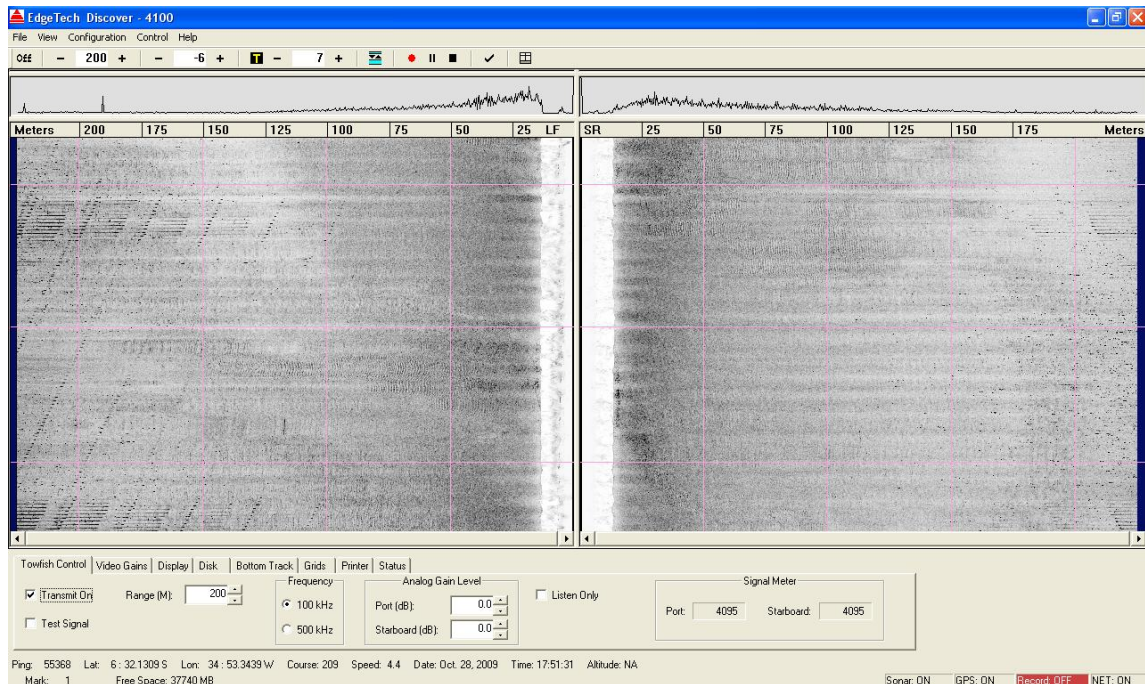


Figura 7 – Configuração da frequência para operação e da distância de varredura lateral do SSS.

- c) Perfilador de subfundo (SBP): Para o georreferenciamento em tempo real dos dados do SBP, foi inicialmente configurada a porta serial para a recepção das coordenadas GPS, conforme indicado na figura 8.

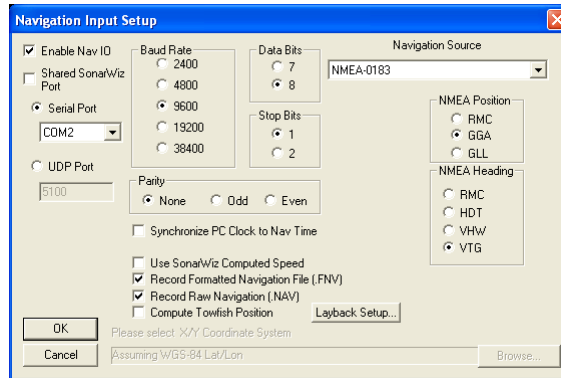


Figura 8 – Configuração das portas seriais da console do SSS para recepção dos dados de navegação GPS.

Sucessivamente, considerando que os alvos procurados são rasos, foram escolhidos os parâmetros de funcionamento do sistema (Figura 9), especificamente:

- a forma de geração dos pulsos: LF *Chirp Pulse*
- a taxa de repetição dos pulsos: 125 m/s
- a duração dos pulsos: 10 m/s
- a potência de transmissão: 0 dB (potência máxima)
- ganho de aquisição: 36 dB

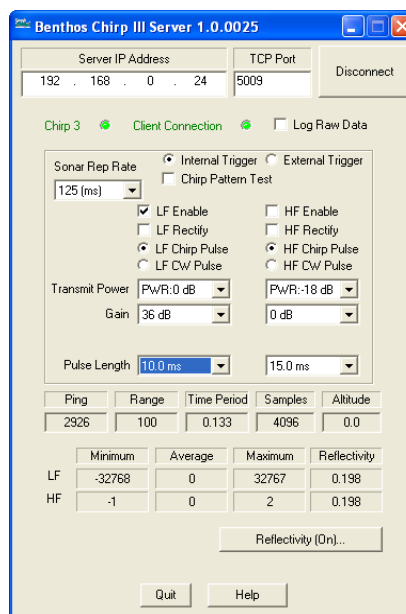


Figura 9 - Configuração da frequência *chirp*, ganho, duração e repetição dos pulsos do sistema SBP.

OPERAÇÕES DE LANÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS NO MAR

As operações de lançamento e recuperação dos sensores foram realizadas manualmente devido à indisponibilidade de guinchos e roldanas na popa, o que representou risco para a equipe e para os equipamentos e necessidade de atenção redobrada para prevenir danos ou perdas em casos de emergência. Na popa inexistiam pontos de amarração adequados para os cabos dos sensores, por isso foi necessário utilizar uma amarração com cordas, o que provocou desgaste nos delicados cabos de reboque e transmissão dados.

EQUIPAMENTOS E QUALIDADE DOS DADOS

A localização das áreas de interesse entre as isobatimétricas de 10 e 30 m, numa região caracterizada pela presença de recifes e pela intensa atividade pesqueira, conjugadas a esteira do navio, tornou necessário manter os sensores afastados da popa e ao mesmo tempo vinculados a uma bóia de superfície a fim de impedir que eles batassem no fundo ou que ficassem presos em redes de pesca. Desta forma foi possível reduzir o ruído nos registros dos sensores, porém, esta prática não impediu que o movimento das ondas fosse transmitido através das bóias e refletido nos registros dos sensores rebocados (SBP e SSS). Na fase de pós-processamento dos dados fez-se necessária a aplicação de filtragem para amenizar este efeito (*swell-filter*), o que implicou em maior dificuldade no reconhecimento do fundo (*bottom track*).

Salienta-se que mesmo a distância de uma dezena de metros da popa, a esteira gerada pelas hélices do navio permaneceu forte e a turbulência e o ruído continuou afetando de forma leve a qualidade dos registros, tanto do SSS (pontos pretos na parte mais afastada do registro) quanto do SBP (reverberação forte nos primeiros 5 metros do registro). A turbulência também foi atribuída ao desprendimento das aletas estabilizadoras do sensor do SSS, provocando movimento em parafuso e danificando o cabo de reboque. O dano no cabo provocou a cobertura sonográfica incompleta da Área 2, pois foi necessário parar a aquisição e aguardar a chegada do cabo de reposição. Quanto à Área 1, a cobertura sonográfica total da área foi prejudicada devido ao pouco tempo disponível e à dificuldade de navegação, principalmente durante a noite, em águas rasas em meio a barcos pesqueiros.

Na operação do sistema SBP *Benthos Chirp III* e do console de aquisição de dados *SonarWiz.Map4*, ocorreram falhas no software na tentativa de configurar a taxa de repetição adequada a levantamentos em águas raras (63 m/s), o que resultou em uma aquisição com resolução não ótima, porém suficiente para o escopo do levantamento.

1.4.3.1. FASE 2 – ETAPA 2: PROCESSAMENTO DOS DADOS

A fase de processamento prevê a utilização de softwares que auxiliarão o processamento dos dados coletados na fase de levantamento geofísico.

1.4.3.2. FASE 3 – FINAL: CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

A interpretação desses resultados será correlacionada com a geologia local a fim de alcançar os objetivos propostos neste trabalho.

O resumo das principais atividades está no fluxograma abaixo (Figura 10).

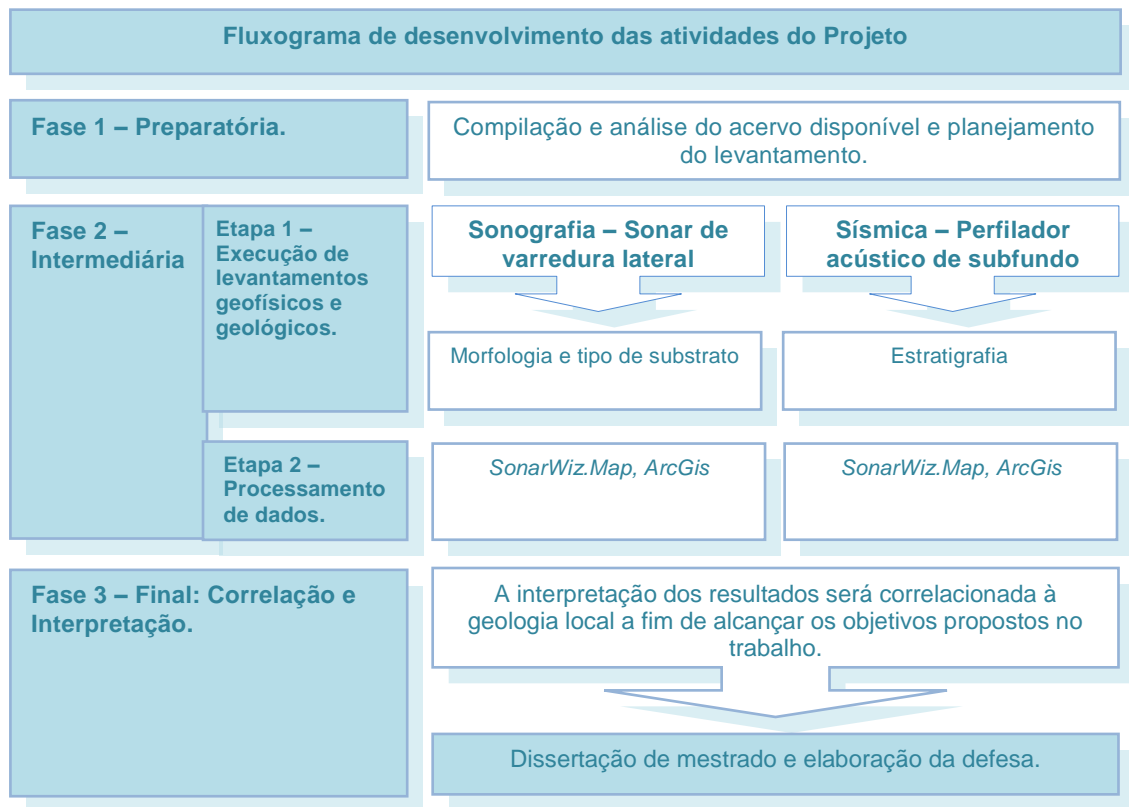


Figura 10 – Fluxograma de desenvolvimento das atividades.



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MORFODINÂMICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL

As duas áreas pesquisadas são delimitadas pelas coordenadas anteriormente referidas na tabela 1 e estão localizadas na plataforma continental interna, na Margem Equatorial Atlântica, ao largo do estado da Paraíba, na região Nordeste brasileira.

As plataformas continentais são províncias compreendidas entre a linha de costa e o talude continental, e sua topografia atual é resultante do efeito cumulativo de erosão e sedimentação relacionadas às oscilações de larga escala do nível do mar (Johnson & Baldwin, 1996; Baptista Neto & Silva, 2004 e Tessler & Mahiques, 2001). Esses sedimentos são retrabalhados e transportados devido à atividade hidrodinâmica de ondas, marés e correntes, assim como os efeitos oscilatórios do nível do mar (Johnson & Baldwin, 1996; Dias & Sichel, 2004; Brown *et al.*, 1999 e Ponzi, 2004).

A plataforma continental apresenta características próprias conforme a variação de profundidade, por isso, pode ser dividida em três regiões: interna, média e externa (Nittrouer & Wright, 1994 e Wright, 1995), conforme a figura 11.

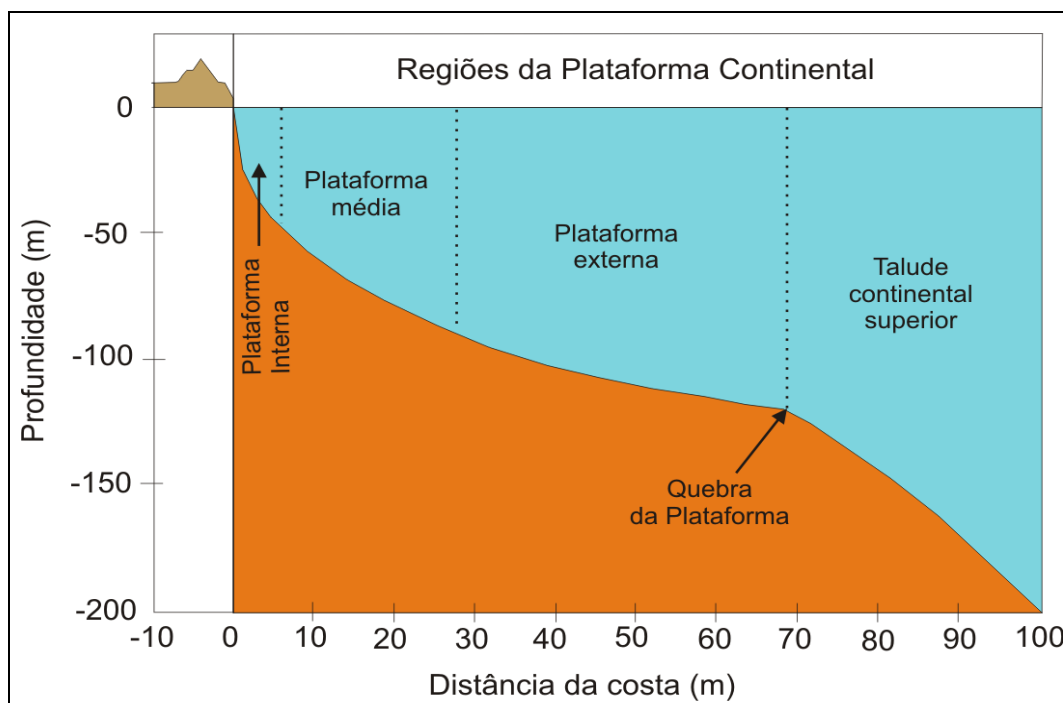


Figura 11 – Regiões interna, média e externa da plataforma continental. Fonte: modificado de Wright (1995).

De acordo com Nittrouer & Wright (1994) e Wright (1995), a plataforma interna é intimamente relacionada às zonas costeiras, principalmente com a zona de surf, visto que

controla as forças hidrodinâmicas que regem esse sistema. Wright (1995) afirma ainda que essa região une a zona marginal às plataformas média e externa, e o oceano profundo. O mesmo autor argumenta ainda que o transporte de sedimentos na plataforma interna é mais intenso, comparado às outras regiões, devido à profundidade do leito marinho, o qual é constantemente revolvido pela ação das ondas.

As porções média e externa da plataforma continental não são aqui descritas por fugirem à área de abrangência da pesquisa e escopo do trabalho.

2.1.1. DINÂMICA DEPOSICIONAL DAS PLATAFORMAS CONTINENTAIS

A sedimentação nas plataformas continentais atuais é resultado da interação de fatores que englobam a dinâmica deposicional. Essa última, conseqüentemente, é controlada pela natureza, tipo e volume de sedimentos, efeitos oscilatórios do nível do mar e processos dinâmicos de transporte e retrabalhamento dos depósitos. Segundo Johnson & Baldwin (1996), fatores secundários são representados pelo clima, aspectos biológicos, interações animal-sedimento, composição do sedimento e química da água do mar.

De acordo com Swift & Thorne (1991), os processos dinâmicos citados são determinados pelas variáveis: taxa de aumento relativo do nível do mar, taxa de entrada de sedimento, tipo de sedimento, força do fluido e taxa de transporte de sedimento.

Martins & Coutinho (1981) afirmam que a plataforma continental brasileira é formada, em grande parte, por depósitos de sedimentos relíquios de natureza siliciclástica ou carbonática.

2.1.1.1. DEPOSIÇÃO SILICICLÁSTICA

Sedimentos terrígenos, ou siliciclásticos, são conduzidos à plataforma continental propulsionados especialmente por rios. As forças hidrodinâmicas litorâneas (ondas, marés e correntes) são as responsáveis pelo retrabalhamento e distribuição desses sedimentos, os quais são posteriormente depositados e incorporados aos previamente existentes (Martins & Coutinho, 1981; Knoppers, *et al.*, 1999; Ponzi, 2004). Dessa forma, a variação do diâmetro dos grãos e seu grau de retrabalhamento podem ser utilizados como parâmetro para a determinação de processos atuantes em cada ambiente.

2.1.1.2. DEPOSIÇÃO CARBONÁTICA

Os sedimentos carbonáticos são produtos de processos biogênicos e bioquímicos. São constituídos pela associação entre partes de organismos e precipitação carbonática,

associada a algas e bactérias, promovendo assim a existência de sedimentos calcários, especialmente em mares costeiros de temperatura elevada. Em áreas de rochas carbonáticas coexistem organismos (corais, animais bentônicos e algas) que tornam possível a determinação da natureza deposicional local baseada em constituintes biogênicos (Nichols, 1999).

2.1.2. REGIMES HIDRODINÂMICOS EM PLATAFORMAS CONTINENTAIS

Nas plataformas continentais modernas os sedimentos e as formas de fundo que as compõem podem ser caracterizados por processos hidrodinâmicos. Depósitos dominados por marés, por ondas e tempestades e por correntes possuem regimes hidrodinâmicos, estruturas e fácies diferenciadas (Johnson & Baldwin, 1996; Walker, 1992). As formas de fundo são relacionadas ao regime de correntes locais. Essas correntes podem estar submetidas a regimes de fluxo inferior, cuja resistência ao fluxo é alta e o transporte de sedimento é relativamente baixo. A este tipo são associadas, como forma de fundo, as *ripples* ou *megaripples*. Já os regimes de fluxo de transição são os responsáveis por *megaripples* erodidas e regimes de fluxo superior, cuja resistência ao fluxo é baixa e o transporte de sedimentos é alto; originam assim fundos planos (Reineck & Singh, 1980).

A fim de contextualizar a situação hidrodinâmica correspondente a data da coleta dos dados, são apresentadas informações de amplitude das ondas marinhas na data dos levantamentos. No período de 06/12/2008 a 19/12/2008, o menor valor de amplitude de onda registrado, segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, foi - 0.1 m e o maior valor foi 2.4 m. Já no levantamento realizado no período de 17/10/2009 a 31/10/2009, o menor valor observado foi 0.1 m e o maior foi 2.5 m.

2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO OCEANOGRÁFICO

Geologicamente, o substrato que compõe a plataforma continental interna brasileira originou-se das oscilações do nível do mar no período Quaternário. As grandes mudanças do nível do mar que ocorrem em extensão global são referidas como variações eustáticas, e possuem relação direta com as diferentes escalas temporais (Martins, 2007).

As flutuações do nível relativo do mar resultam das variações reais do nível marinho (eustasia) e das modificações do nível dos continentes (tectonismo e isostasia). Sendo assim, quando são construídas curvas de reconstrução de antigos níveis marinhos, deve-se considerar as posições relativas e não as absolutas. As modificações do nível do mar podem ser de escala mundial e local ou regional. As curvas da figura 12 são construídas por meio de evidência que comprove a flutuação do mar no espaço e no tempo. Para definir a

posição deste testemunho no espaço é preciso conhecer sua altitude atual em relação à original, ou seja, conhecer sua posição em relação ao nível do mar na época de sua formação ou de sua sedimentação. Já para definir um testemunho no tempo é necessário conhecer a época de sua formação ou sedimentação, utilizando-se para isso métodos de datação (isotópicos ou arqueológicos). Um testemunho assim definido fornecerá a posição do nível do mar em certa época (Suguio *et al.*, 1985).

Na figura 12 são plotadas as curvas referentes ao nível do mar no Holoceno, no litoral brasileiro. O comportamento do nível do mar durante o Holoceno teve como base o comportamento geral, apresentado pelas curvas de variação do nível do mar mostradas por Corrêa (1990), Martin *et al.* (1979) e Angulo & Lessa (1997) (Figura 12A). Em torno de 6.000 anos A.P. (antes do presente) o nível do mar atingiu seu máximo e após isso desceu continuamente (Figura 12B). Sendo assim, a interpretação da figura 12A permite a correlação entre a profundidade de 20 metros, como foi a caracterizada na maior parte do paleocanais mapeados, e o valor relativo ao ano correspondente dentro do período de 6.000 anos A.P. até os dias atuais.

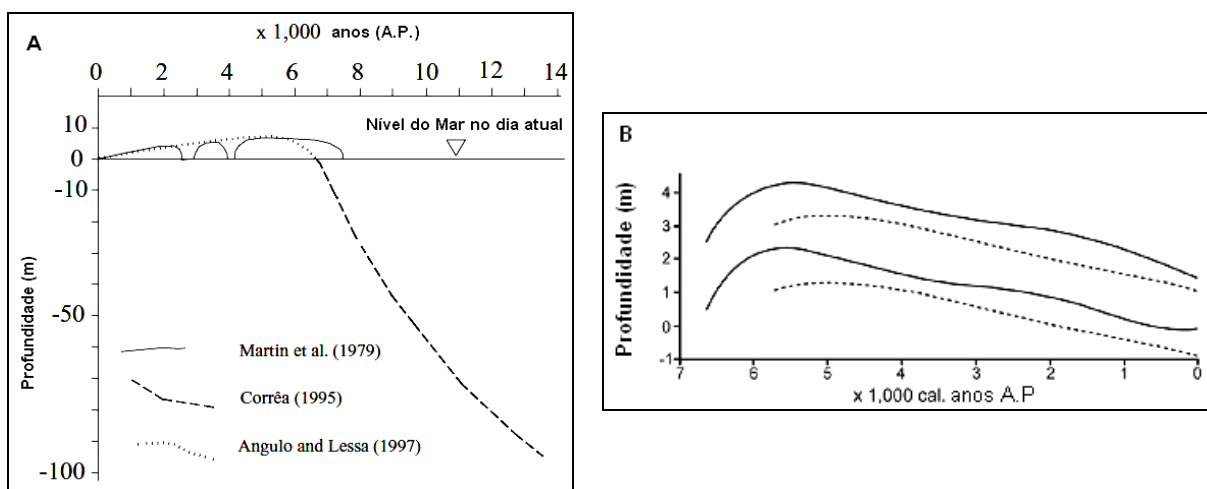


Figura 12 – Curvas do nível do mar referentes ao Holoceno relativas à costa leste do Brasil. Em A, curva sólida: Corrêa (1990) *apud* Dillenburg *et al.* (2009). Curva pontilhada: Martin *et al.* (1979) *apud* Dillenburg *et al.* (2009). Curva tracejada: Ângulo & Lessa (1997) *apud* Dillenburg *et al.* (2009). Em B, curvas de nível do mar para o litoral brasileiro. Linha sólida: Costa a norte de 28° S e Linha tracejada: Costa a sul de 28°S. Modificado de Ângulo *et al.*, 2006 *apud* Dillenburg *et al.* (2009).

A influência de agentes da natureza: ventos, correntes, ondas e marés, constituíram, então, interdigitações de camadas de sedimentos de diversas naturezas.

As áreas 1 e 2 situam-se na parte submersa da Plataforma de Natal e Bacia da Paraíba, respectivamente, a profundidades entre 10 e 25 metros (Figura 1). A ocorrência de recursos minerais nessas áreas é dependente do contexto geológico em que se inserem.

2.2.1. FATORES DE INFLUÊNCIA DO CONTEXTO GEOLÓGICO

Os fatores que influenciam o contexto geológico de ocorrência dos recursos minerais marinhos na plataforma continental podem ser divididos em processos tectônico-sedimentares, variações eustáticas do nível do mar e mudanças ambientais (Martins, 1996, *apud* Martins, 2007).

As bacias sedimentares da Plataforma de Natal e da Paraíba podem conter acumulações minerais de importância econômica, por isso, serão aqui discutidas, enfocando o processo de formação tectônico e estratigráfico de cada uma.

2.2.2. PROCESSOS TECTÔNICO-SEDIMENTARES ATUANTES NAS BACIAS SEDIMENTARES

A formação de bacias sedimentares está atrelada a processos tectônicos e sedimentares, que junto a variações do nível do mar e mudanças ambientais atuam de forma inter-relacionada, afetando a distribuição dos recursos minerais marinhos em algumas destas bacias.

Uma bacia sedimentar corresponde a uma área deprimida, em geral de origem tectônica, preenchida por rochas sedimentares e/ou vulcânicas com centenas a alguns milhares de metros de espessura e centenas a milhões de quilômetros quadrados de área. Sua geometria final é dependente dos padrões de tectonismo que lhe afetam por meio de falhas e dobras, antes ou após a sedimentação (Suguio, 2003).

Existem três tipos de bacias sedimentares, segundo sua área de abrangência. São elas: as exclusivamente terrestres; as costeiras, que recebem influência do continente e do mar; e as oceânicas. Os depósitos minerais investigados neste trabalho pertencem à segunda classificação.

Nesta dissertação, considera-se a interpretação de Mabesoone & Alheiros (1988) e (1993); Lana & Roesner, (1999a), (1999b); Feitosa *et al.* (2002); Barbosa *et al.* (2003) e Barbosa (2004); *apud* Barbosa & Lima Filho (2006) de que o trecho entre a Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE) e a Zona de Cisalhamento Patos (ZCPA) corresponde à bacia Paraíba e que a faixa que se estende desde a ZCPA até o Alto de Touros corresponde a uma faixa distinta, chamada Plataforma de Natal (Figuras 13 e 14). Essa interpretação é baseada principalmente em aspectos estratigráficos.

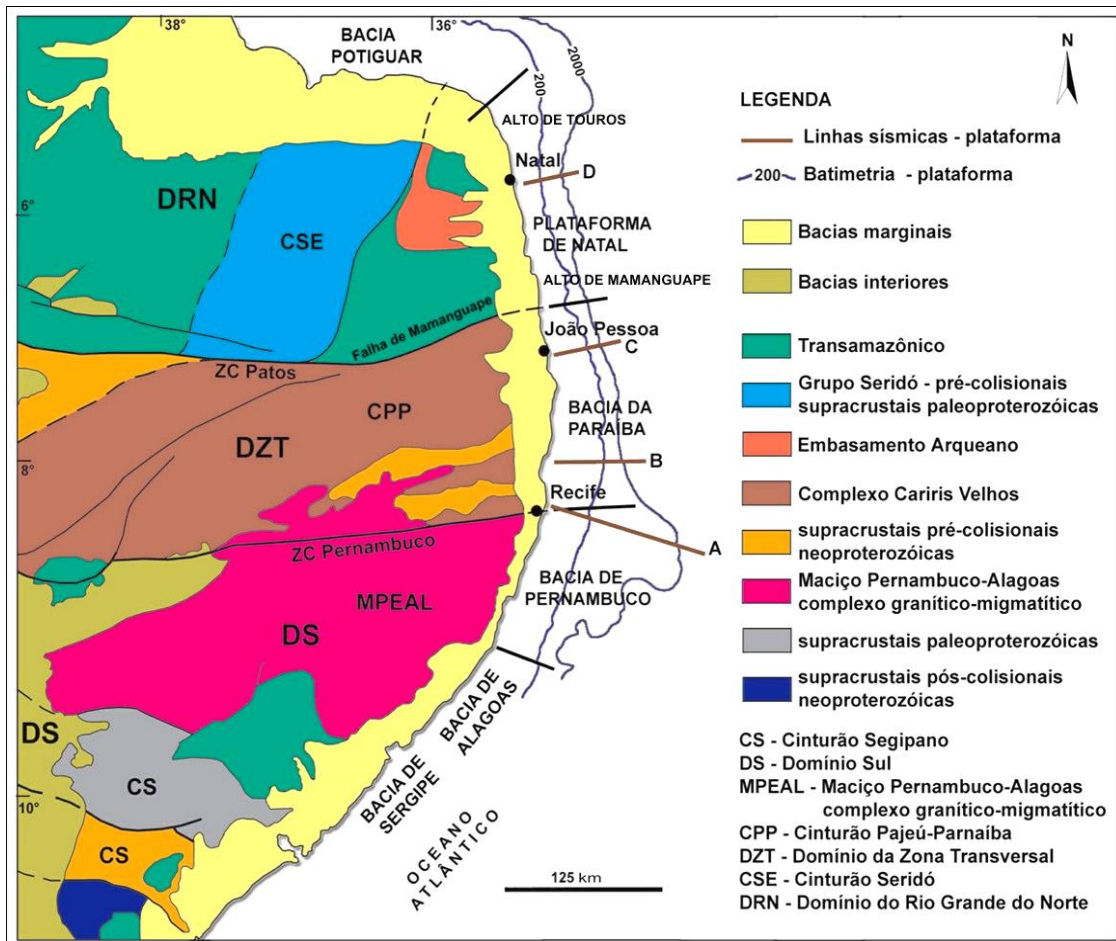


Figura 13 – Compartimentação no continente controlada por grandes falhas e zonas de cisalhamento e a divisão das bacias sedimentares na região Nordeste brasileira. Notar abrangência da Plataforma de Natal e Bacia da Paraíba, onde se inserem as áreas estudadas. As quatro linhas sísmicas dispostas na plataforma são representadas na figura 14. Fonte: Modificado de Barbosa & Lima Filho (2006).

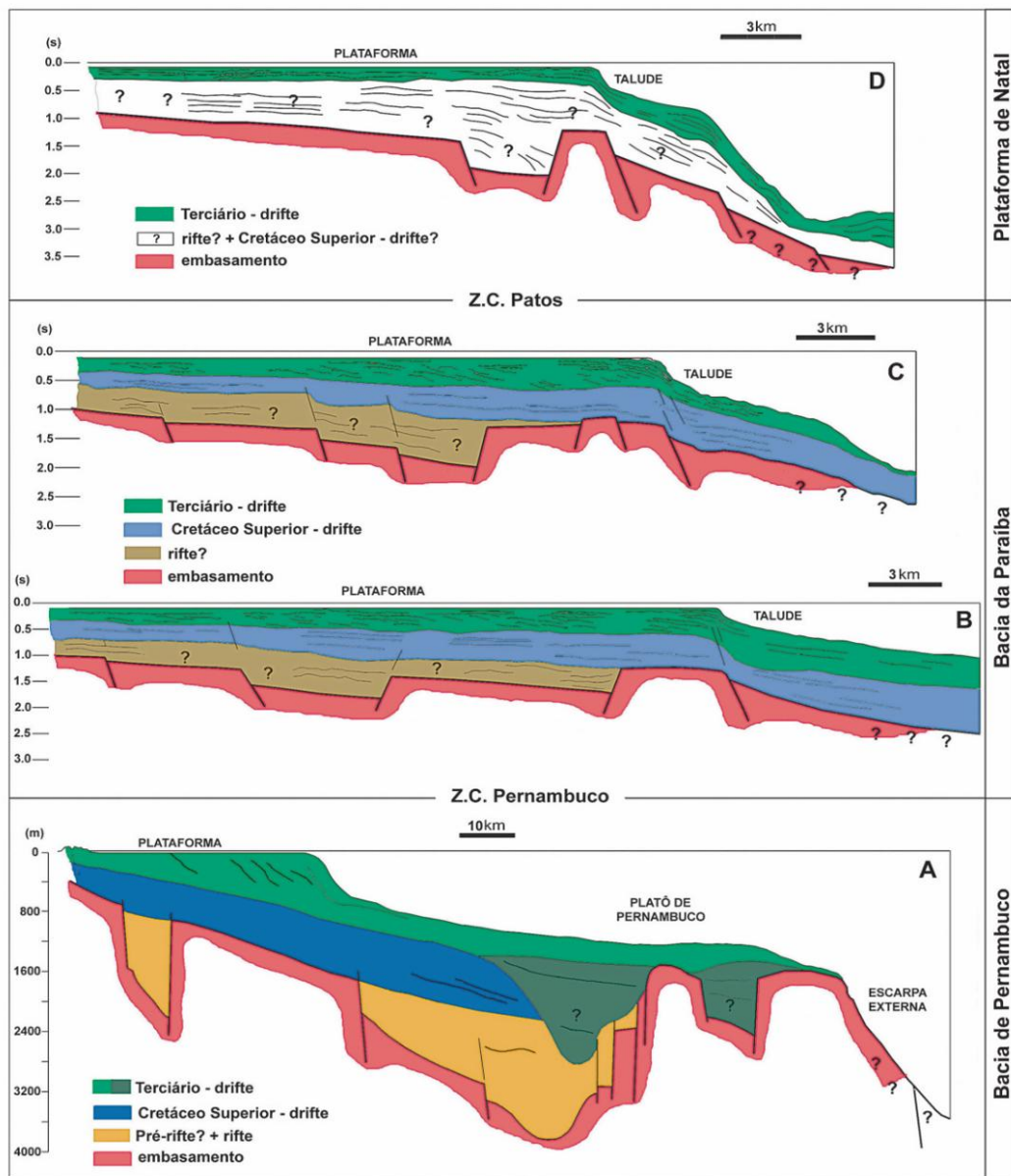


Figura 14 – Representação esquemática das linhas sísmicas apresentadas na figura 13. A linha A (adaptada de Alves & Costa, 1986, *apud* Barbosa & Lima Filho, 2006) corresponde à Bacia de Pernambuco, as linhas B e C (interpretadas por Barbosa & Lima Filho, 2006) correspondem à Bacia Paraíba e a linha D (interpretada por Barbosa & Lima Filho, 2006) corresponde à Plataforma de Natal.

O trecho é pouco estudado e possui características tectônicas diferenciadas das bacias marginais vizinhas. Essa diferenciação é marcada pela feição de rampa estrutural suavemente inclinada que domina a faixa costeira, pela ausência de *grabens* profundos e pela seqüência sedimentar de espessura máxima de 400 m, a qual recobre a faixa costeira e a plataforma. Dois depocentros (*grabens*) foram identificados: o de Itamaracá, em Pernambuco e o de João Pessoa-Cabedelo, na Paraíba (Barbosa & Lima Filho, 2006).

No trabalho de Barbosa & Lima Filho (2006), a integração dos dados da faixa costeira e da plataforma revelou que o perfil encontrado se enquadra no modelo de rampa distalmente inclinada.

2.2.3. A BACIA DA PLATAFORMA DE NATAL

Nela está inserida a primeira área de pesquisa (Figura 1). A bacia da Plataforma de Natal se estende desde a Falha de Mamanguape, que representa uma ramificação da ZCPA, até o Alto de Touros (Figura 13) e corresponde a uma região distinta da Bacia da Paraíba.

A geologia da região costeira entre João Pessoa e Natal foi estudada por diversos autores durante as décadas de 70 e 90. São eles: Mabelsoone (1970), (1994), (1995) e (1996); Mabelsoone *et al.* (1991) e (1999); Mabelsoone & Silva (1991); Souza (1973); Campanha (1979); Campanha & Saad (1999) e Damasceno *et al.* (1984) *apud* Barbosa (2007). Eles abordaram aspectos estratigráficos, petrográficos e paleontológicos da região, porém, sem determinar de forma precisa a gênese, a idade e a correlação entre as bacias vizinhas.

Na região da Plataforma de Natal ocorre a Formação Jandaíra (Turoniano-Campaniano inferior) depositada diretamente sobre o embasamento. Capeando esta, aparecem calcários de plataforma mista, que foram associados à Formação Itamaracá da Bacia da Paraíba (Feitosa & Feitosa, 1986; Feitosa *et al.*, 2002, *apud* Barbosa & Lima Filho, 2006), porém, sem identificação ou correlação precisa (Damasceno *et al.* 1986; Mabelsoone *et al.*, 1991; Lana & Roesner, 1999a, 1999b; *apud* Barbosa & Lima Filho, 2006) (Figura 15 e 16). Os escassos trabalhos revelam que tais estratos carbonáticos recebem influência de siliclastos detríticos. Dessa forma, as principais litologias são calcários com siliciclastos, arenitos calcíferos, margas e folhelhos (Campanha, 1979; Campanha & Saad, 1999; Mabelsoone *et al.*, 1991; Mabelsoone & Alheiros 1993; Mabelsoone & Silva, 1991; Damasceno *et al.*, 1984 e 1986; Lana & Roesner, 1999a e 1999b; Hessel & Barbosa 2005a e 2005b e Barbosa *et al.*, 2005a e 2005b; *apud* Barbosa *et al.*, 2007).

Segundo Barbosa *et al.* (2007), testemunhos de poços perfurados pelo Projeto Fosfato, da CPRM-PE, permitiram conhecer a sucessão sedimentar de subsuperfície na região a norte da cidade de Mataraca. O perfil revela que cerca de 150 a 100 m do poço correspondem a depósitos Terciários atribuídos à Formação Barreiras e os demais metros, a depósitos carbonáticos com silicatos, característicos de plataforma mista e restrita (Campanha, 1979; Barbosa & Lima Filho, 2006 e Barbosa, 2007; *apud* Barbosa *et al.*, 2007).

Estudos executados em poços e afloramentos das sub-bacias de Canguaretama e de Natal, concluíram que os depósitos lá encontrados poderiam ser correlacionados com eventos de deposição carbonática da Bacia Potiguar (Campanha, 1979; Campanha & Saad, 1999; Damasceno *et al.*, 1984, 1986 e Lana & Roesner, 1999a, 1999b; *apud* Barbosa *et al.*, 2007).

Alguns afloramentos existentes na região de Canguaretama-Pedro Velho, próximos à divisa entre Paraíba e Rio Grande do Norte, indicam que a porção superior desses estratos é caracterizada por estratos plataformais mistos, depositados em uma rampa rasa sob condições de restrição e forte influência de siliciclastos (Barbosa *et al.*, 2005a, 2005b; *apud* Barbosa *et al.*, 2007).

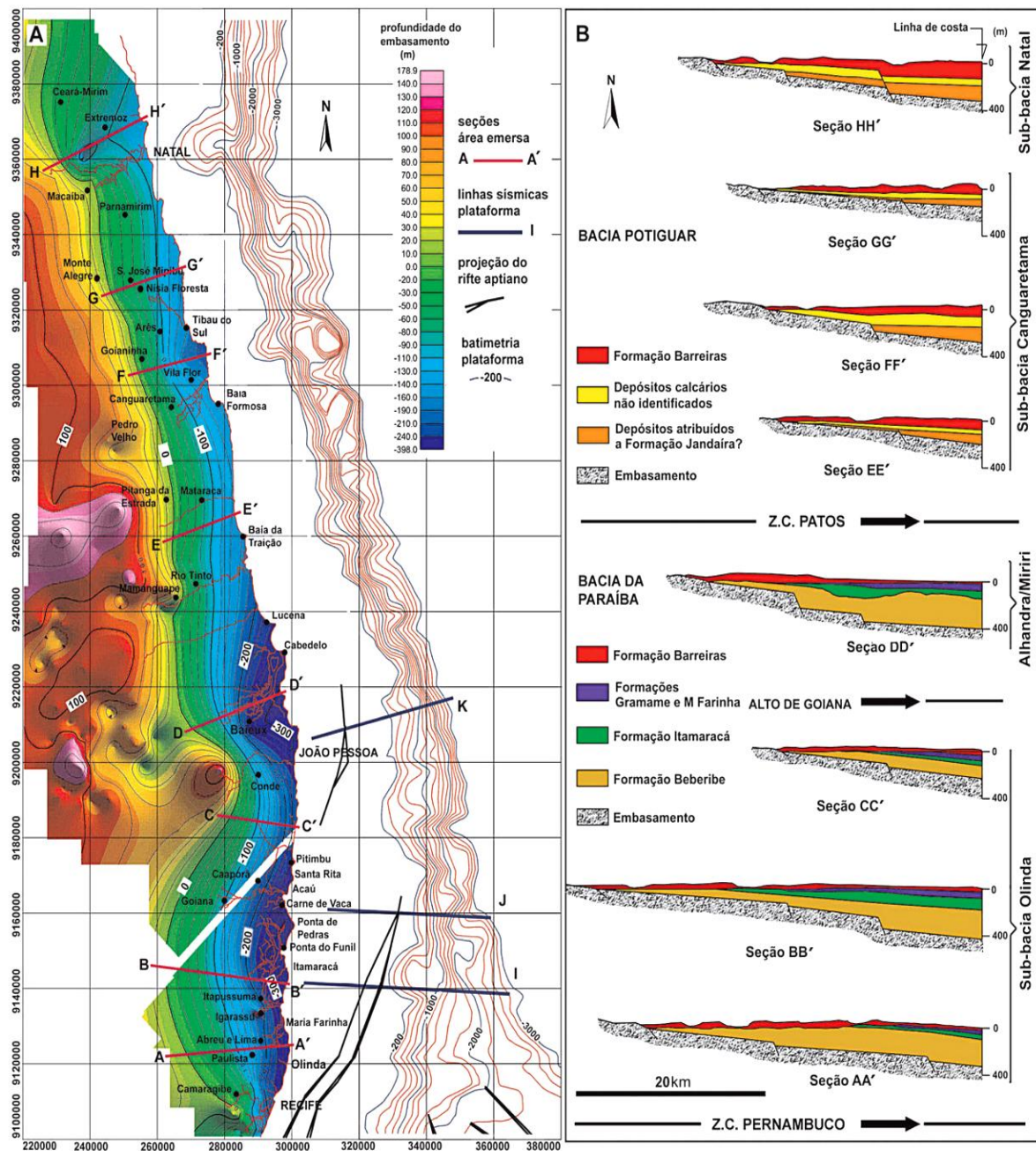


Figura 15 – Posicionamento de seções geológicas na Faixa Recife-Natal, em A. As seções, em B, mostram o perfil da rampa na faixa costeira e o comportamento geral das unidades litoestratigráficas. As linhas sísmicas I, J e K são dados adicionais que afirmam a feição de rampa da plataforma nessa região. Fonte: Barbosa & Lima Filho (2006).

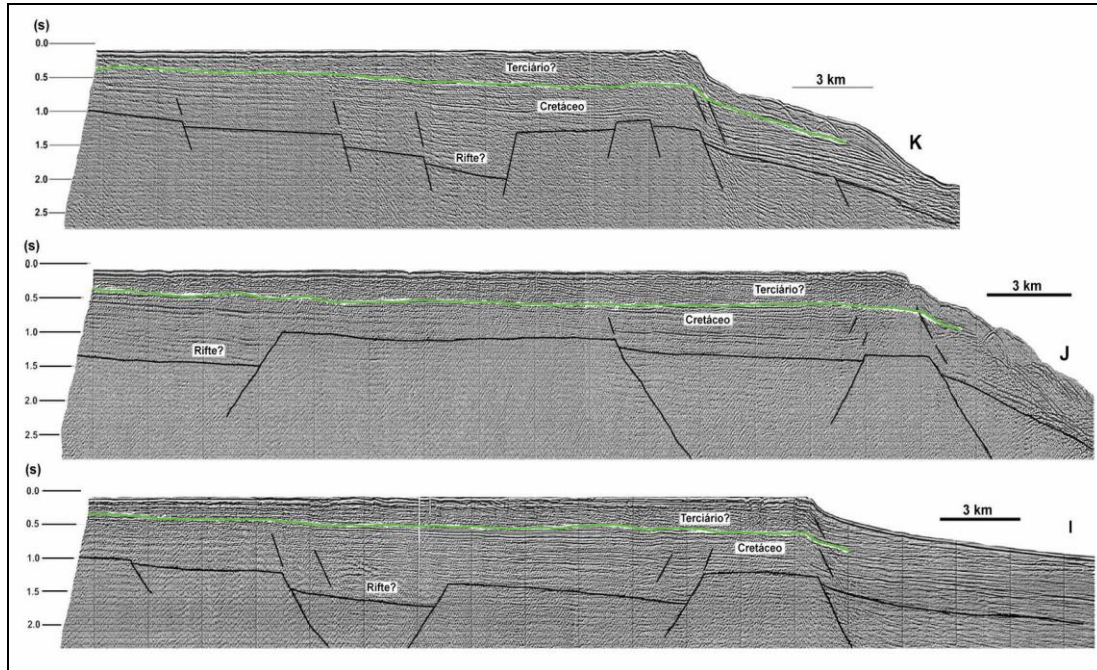


Figura 16 – Linhas sísmicas I, J, K, demarcadas na figura 15. A linha preta corresponde ao embasamento e a linha verde a transição (?) Cretáceo - Paleógeno. A profundidade é dada em segundos (s). Fonte: Barbosa & Lima Filho (2006).

A diferenciação dos depósitos que recobrem esta faixa costeira em setores evidencia a atuação tectônica no controle da deposição das unidades estratigráficas, no qual as zonas de cisalhamento Pernambuco e Patos atuam como limitadores dos processos tectônicos (Lima Filho, 1998; Lima Filho *et al.*, 1998; Barbosa *et al.*, 2003; Barbosa, 2004; Souza, 1998, Souza, 2006; *apud* Barbosa & Lima Filho, 2006).

O trabalho de Barbosa & Lima Filho (2006) conclui que as linhas sísmicas (Figura 16) permitem classificar a plataforma adjacente à faixa costeira como uma rampa estrutural inclinada em direção à bacia oceânica.

A carta estratigráfica da faixa costeira Recife-Natal, a qual abrange o trecho estudado, é ilustrada na figura 17.

2.2.4.A BACIA PARAÍBA

Nela insere-se a segunda área de pesquisa deste trabalho (Figura 1). A Bacia Paraíba ocupa uma estreita faixa na porção costeira no estado Nordeste brasileiro. Ela era parte integrante da chamada Bacia Pernambuco-Paraíba, mas Lima Filho (1998), *apud* Souza E. M. (2006) a distinguiu em duas bacias sedimentares com origem e evolução geológica distintas, separadas pelo Lineamento Pernambuco, próximo a Recife (Figura 13).

Mabesoone & Alheiros (1988) e Souza (1999); *apud* Souza E. M. (2006) consideravam o Alto de Touros (Bacia Potiguar), próximo a Natal, como o limite norte da

bacia, porém, estudos recentes consideram como limite norte o Alto de Mamanguape, devido critérios litológicos. Barbosa & Lima Filho (2006) consideram a projeção da faixa entre a Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE) e a ZCPA, na faixa costeira e na plataforma, como o domínio da Bacia da Paraíba. Seu limite oeste é o embasamento cristalino e a leste a cota batimétrica de 3.000 m no Oceano Atlântico.

A espessura sedimentar da bacia é reduzida, aproximadamente 400 m em sua parte emersa e 300 m na porção submersa (Barbosa & Lima Filho, 2005).

Dados estruturais, estratigráficos e geofísicos permitem dividir a Bacia Paraíba em três sub-bacias (Mabesoone & Alheiros, 1988, *apud* Souza, E. M. 2006). São elas: Olinda, Alhandra e Miriri.

O preenchimento sedimentar da faixa costeira entre a ZCPE e a Falha de Mamanguape (Bacia Paraíba) teve início no Santoniano com a Formação Beberibe, segundo Beurlen (1967a, 1967b), *apud* Barbosa *et al.* (2003). Essa formação é composta por arenitos continentais médios a grossos e arenitos conglomeráticos de ambientes flúvio-lacustre, depositados sobre embasamento cristalino (Barbosa *et al.*, 2007). Sobre a Formação Beberibe foram depositados sedimentos associados a um evento transgressivo que recobriu os depósitos continentais basais (Barbosa *et al.*, 2007). Esses sedimentos constituem a Formação Itamaracá (Campaniano-Maastrichtiano superior?), composta por depósitos costeiros de estuários e lagoas caracterizados por fósseis de ambiente marinho salobro e níveis de fosfato sedimentar compostos arenitos carbonáticos, folhelhos e carbonatos com siliciclastos ricamente fossilíferos, no topo desta unidade (Kegel, 1955, *apud* Barbosa *et al.*, 2003). Sobreposto a Formação Itamaracá, está a Formação Gramame (Maastrichtiano), composta por calcários e margas, sem influência de silicatos (Barbosa *et al.*, 2007). Acima, separadas por um evento erosivo regional, está a Formação Maria Farinha (Paleoceno), caracterizada por calcários e margas (Barbosa *et al.*, 2007) com gradual incremento de siliciclastos devido a um evento regressivo. Contém ainda uma fauna fóssil, recifes e lagoas recifais (Mohriak, 2003).

Na porção marinha, supõe-se a existência de argilas e folhelhos intercalados entre níveis turbidíticos, oriundos da Formação Calumi. Coberturas detríticas Neocenozóicas da Formação Barreiras recobrem as seqüências mais antigas (Mohriak, 2003). Esta formação consiste de depósitos sedimentares areno-argilosos pouco consolidados com fácies de leques aluviais, canais fluviais e planície de inundação e sedimentos do Quaternário, constituídos por depósitos oriundos de praias, lagos, mangues e recifes (Mabesoone & Alheiros, 1993). No litoral Paraibano as falésias existentes são constituídas por sedimentos da Formação Barreiras (Figura 17). Esta forma de relevo litorâneo, submetida a processos dinâmicos, fornece material detrítico ao mar (Maia & Sá, 2003).

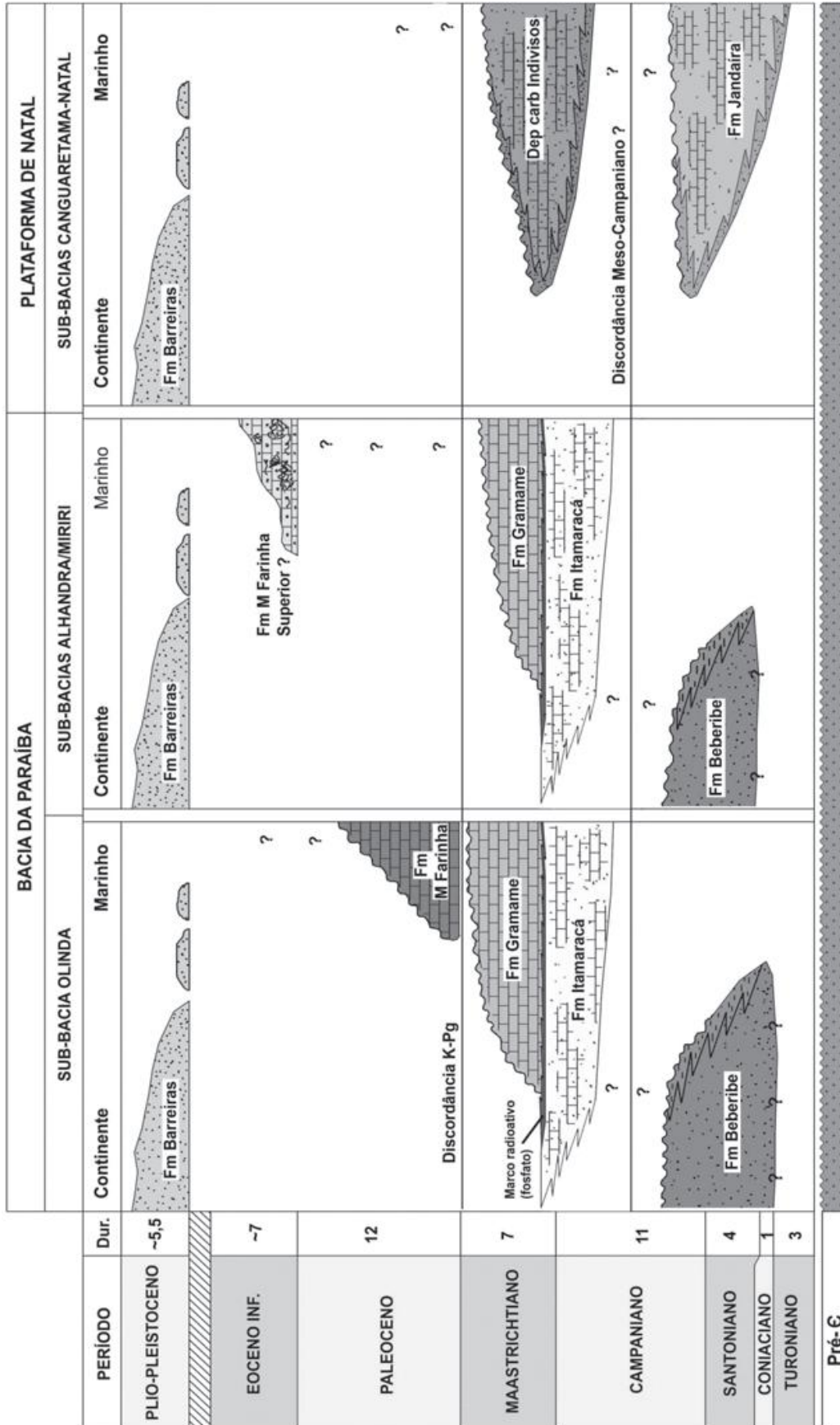


Figura 17 – Carta estratigráfica da faixa costeira Recife-Natal, a qual abrange o trecho estudado. Fonte: Barbosa et al. (2007).

2.3. DEPÓSITOS MINERAIS MARINHOS

Os depósitos minerais marinhos de granulados biodetríticos e placers de minerais pesados, inseridos comumente em paleocanais afogados, estão inseridos nas bacias sedimentares costeiras anteriormente discutidas e serão aqui detalhados.

O fundo marinho da plataforma continental brasileira e de áreas adjacentes representa uma complexa região de grande interesse ambiental, científico, econômico e estratégico, a qual compreende os ambientes costeiros, transicionais e oceânicos (Figura 18) (Martins, 2007).

Os recursos minerais potencialmente econômicos desta região incluem depósitos minerais superficiais e subsuperficiais. Dentre os de subsuperfície estão os depósitos de evaporitos e enxofre associados, os de carvão mineral e os hidratos de gás. Já as fosforitas, os nódulos polimetálicos, crostas cobaltíferas e sulfetos polimetálicos enquadram-se na primeira classificação, bem como os depósitos de granulados biodetríticos marinhos e de placers, alvos desta pesquisa (Figura 19) (Martins, 2007).

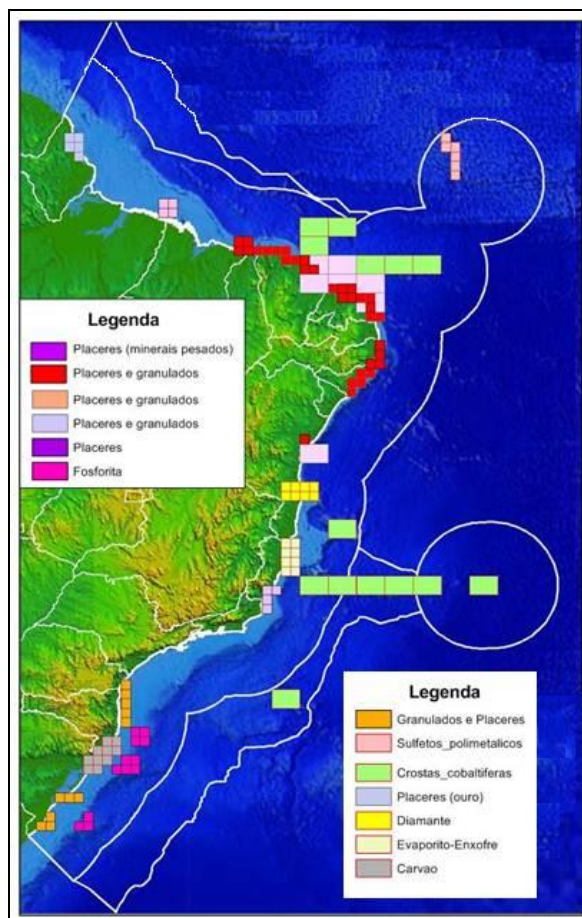


Figura 18 – Localização das áreas de ocorrência de recursos minerais na Plataforma Continental Brasileira. Fonte: <https://www.mar.mil.br/secirm/remplac.htm>.

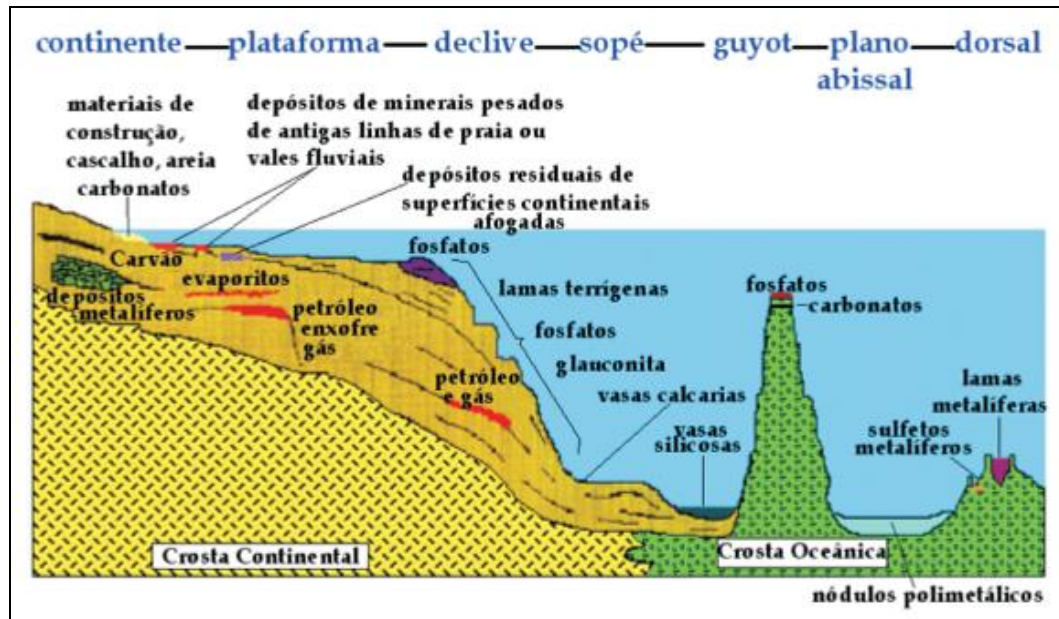


Figura 19 – Representação esquemática da margem continental e regiões adjacentes e localização de depósitos minerais. Fonte: Cook (1975), *apud* Martins (2007).

2.3.1. GRANULADOS MARINHOS

Os granulados marinhos podem ter origem biotérrica ou litoclástica. Os primeiros são os constituídos principalmente por algas calcárias (Dias, 2000), o último por areias e cascalhos, originados do continente (terrígeno), depositados na plataforma continental e retrabalhados pela ação conjunta de ondas e correntes marinhas (Silva *et al.*, 2000).

2.3.1.1. GRANULADOS BIOTÉRRICOS

Granulados biotérricos são os de composição carbonática (CaCO_3). Constituem-se por algas calcárias (aquelas que, como resultado de seu metabolismo, induzem a precipitação do CaCO_3 da água, formando um esqueleto endurecido), as quais participam da formação de recifes de corais, junto a outros organismos e fragmentos de conchas (Dias, 2000), cenário existente na área 2 de pesquisa do trabalho. Os granulados biotérricos ou carbonáticos são constituídos por detritos, nódulos (conhecidos como rodólitos), crostas e recifes de algas calcárias (Figura 20) (Serafim & Chaves, 2005).

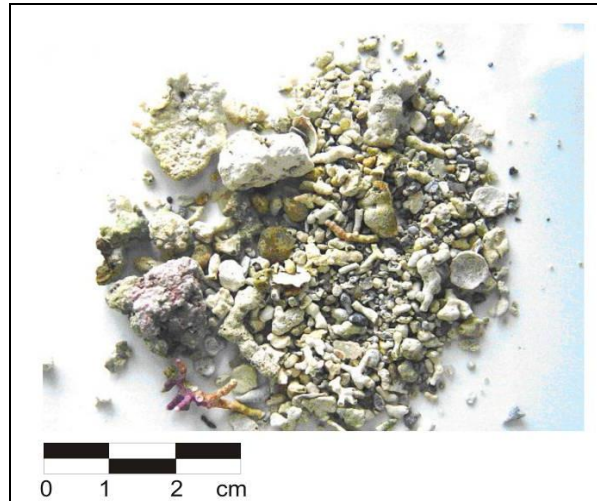


Figura 20 – Bioclásticos.

Os recifes de corais, do ponto de vista geomorfológico, são estruturas rochosas, rígidas, resistentes à ação das ondas e correntes marinhas e construídos por organismos marinhos (animais e vegetais) portadores de esqueleto calcário (Leão, 1994, *apud* Costa *et al.*, 2007). Fisicamente, os recifes protegem as regiões costeiras da ação do mar.

Os ambientes recifais costeiros na região Nordeste do Brasil estão entre os ecossistemas ameaçados por interferência antrópica. Na Paraíba, estes ambientes ocorrem no litoral norte, próximo à desembocadura do Rio Mamanguape e também contíguo ao município da Baía da Traição. Eles existem ainda ao sul do estuário do Rio Paraíba até os limites com o estado de Pernambuco (Costa *et al.*, 2007).

Em Mamanguape (município de Rio Tinto), na Ponta de Mato (município de Cabedelo), em Picãozinho e Cabo Branco-Ponta do Seixas (município de João Pessoa), os recifes posicionam-se próximos à costa e em outras porções, distam cerca de 2 km da praia. Em alguns locais, como em Cabo Branco, esses ambientes distribuem-se ao largo de falésias, onde um extenso terraço de abrasão do tipo arenítico-ferruginoso se forma na base da falésia (Sassi, 1987, *apud* Costa *et al.*, 2007). Os processos erosivos que atuam nas falésias criam condições naturais ao desenvolvimento dos recifes, processo que é intensificado pela ação antrópica, já que na área há o turismo e coleta de recursos marinhos.

Os corais, hidrocorais e outros organismos cresceram em direção à superfície da água do mar por meio de uma estrutura rochosa que foram construindo com seus esqueletos. Esta estrutura serviu de base para fixação de outros organismos e desta forma o recife foi constituído (Laborel, 1970, *apud* Castro, 1999).

A costa brasileira entre 6° S (Natal) e 10° S (desembocadura do Rio São Francisco) foi chamada por Laborel de Costa dos Arrecifes, apesar de existir outra feição marcante: as

barras de arenito de praia existentes em diferentes profundidades, formadas durante as oscilações do mar (Mabesoone, 1964; Laborel, 1970; *apud* Castro, 1999).

Segundo Dias (2000), as algas coralinas necessitam de luz para sua sobrevivência e desenvolvimento, desta forma, apenas permanecem vivas na superfície do fundo marinho e na crosta mais externa. O mesmo autor afirma que apenas formas livres, tais como rodólitos, nódulos e seus fragmentos, ou seja, bioclástos, são viáveis para a exploração econômica, pois constituem depósitos sedimentares inconsolidados, de fácil coleta por dragagem. Estas formas livres crescem sobre os substratos inconsolidados e são abundantes em regiões com fortes correntes de fundo ou em períodos de intensa atividade de ondas e correntes.

PROSPECÇÃO

A extensa cobertura de sedimentos carbonáticos existentes nas porções média e externa da plataforma continental brasileira (que é a maior, a nível global) tem exploração limitada em função da profundidade e dos teores de mistura com areias quartzosas (Dias, 2000).

A espessura dos depósitos e a morfologia do substrato rochoso subjacente podem ser determinadas por meio de perfis verticais de sísmica de reflexão rasa de alta resolução utilizando-se o perfilador acústico de subfundo. O mapeamento das características morfológicas desses depósitos, baseado apenas em amostragem superficiais, é insuficiente. É fundamental o uso do sonar de varredura lateral, devido à grande variedade de fácies sedimentares dos depósitos carbonáticos e seus contatos bruscos. O sonar fornece, para o fundo marinho, uma imagem comparável a uma fotografia aérea, para o continente. Seus padrões de reflexão são posteriormente calibrados pelas amostragens pontuais do fundo. A análise dos padrões de reflexão acústica do fundo submarino permite a delimitação precisa dos setores exploráveis, individualizando os domínios arenosos e outras fácies sedimentares e permite conhecer indiretamente as condições hidrodinâmicas (correntes e ondas) e direção predominante do transporte sedimentar, favorecendo a avaliação do risco da extração sobre a estabilidade do litoral ou áreas de preservação ambiental (Dias, 2000).

APLICAÇÕES

As algas calcárias são compostas basicamente por carbonato de cálcio (calcita) e carbonato de magnésio (dolomita) e mais de 20 oligoelementos, presentes em quantidades variáveis, tais como Fe, Mn, B, Ni, Cu, Zn, Mo, Se e Sr. São utilizadas para diversas aplicações: na agricultura para correção de solos ácidos, potabilização de águas para

consumo, indústria de cosméticos, dietética, implantes em cirurgia óssea, fabricação de cimento e cal, nutrição animal e tratamento da água em lagos (Dias, 2000).

Segundo Serafim & Chaves (2005), não existe ainda exploração comercial de granulados bioclásticos na margem continental brasileira, contudo, algumas empresas já solicitaram permissão de exploração ao Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) em áreas na plataforma continental do Espírito Santo e Maranhão.

IMPACTOS AMBIENTAIS

Como regra geral a exploração dos granulados marinhos da plataforma deve ser localizada e não extensiva, concentrando-se preferencialmente nas camadas subsuperficiais (subfundo raso) de maneira a preservar as áreas de ocorrência das algas vivas em superfície e os demais organismos bentônicos associados (Dias, 2000).

O autor ainda afirma que em áreas de baixa mobilidade do fundo tais como áreas de sedimentos finos que capeiam os depósitos de cascalho extraídos no fundo dos paleocanais, as marcas de extração podem permanecer visíveis por anos. Já em áreas arenosas, os vestígios da extração desaparecem facilmente. A pesca por redes de arrasto ou dragagens pode ser impactante se afetar a camada superficial do fundo submarino em grandes extensões.

2.3.1.2. GRANULADOS LITOCLÁSTICOS

Nos ambientes marinhos e litorâneos, os granulados litoclásticos são compostos por areias quartzosas, feldspatos, zircão, ilmenita e fragmentos de rocha. O termo granulado refere-se à granulometria variável destes materiais detríticos, que pode variar de areias finas (0,250 - 0,125 mm) a seixos (64,0 - 4,0 mm) (Silva *et al.*, 2000).

Os sedimentos litoclásticos são originados pelo intemperismo e erosão de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, cujos fragmentos podem ser transportados para ambientes litorâneos e marinhos por agentes continentais (rios, geleiras, vento) ou mesmo por eventos de escorregamentos de encostas, em regiões costeiras de relevo acentuado, concentrando-se na base de escarpas que atingem diretamente o litoral (Silva *et al.*, 2000).

Mudanças do nível do mar relativo influenciam os depósitos litoclásticos. Tais mudanças causaram a migração da linha de costa e a exposição ou afogamento da plataforma continental, respectivamente durante os eventos regressivos e transgressivos que ocorreram após episódios de sedimentação. A estes eventos associam-se os processos de retrabalhamento, acúmulo, dispersão e seleção granulométrica dos sedimentos (Silva *et al.*, 2000).

Ondas, correntes marinhas e correntes de maré são agentes oceânicos responsáveis pelo retrabalhamento dos granulados litoclásticos. O produto remanescente são os depósitos arenosos na plataforma continental (Silva *et al.*, 2000).

O retrabalhamento pode dar origem a cristas arenosas (Figuras 21 e 22) de grandes dimensões (quilômetros de largura por dezenas de quilômetros de extensão e alturas entre 5 e 10 metros) (Figueiredo, 1984, *apud* Silva *et al.*, 2000). As cristas são compostas por variações de areias média a fina e cascalhos nas depressões entre cristas. Elas são comuns em plataformas largas, de baixo gradiente, associadas a planícies costeiras amplas e em áreas de micro a meso marés (Silva *et al.*, 2000).

Existem ainda os depósitos de granulados litoclásticos associados à paleocanais afogados pelos eventos de elevação do nível do mar (Figuras 21 e 22). Devido à competência do fluxo fluvial, os canais tendem a ser preenchidos por cascalho na sua base, gradando a sedimentos de menor granulometria no topo (Silva *et al.*, 2000).

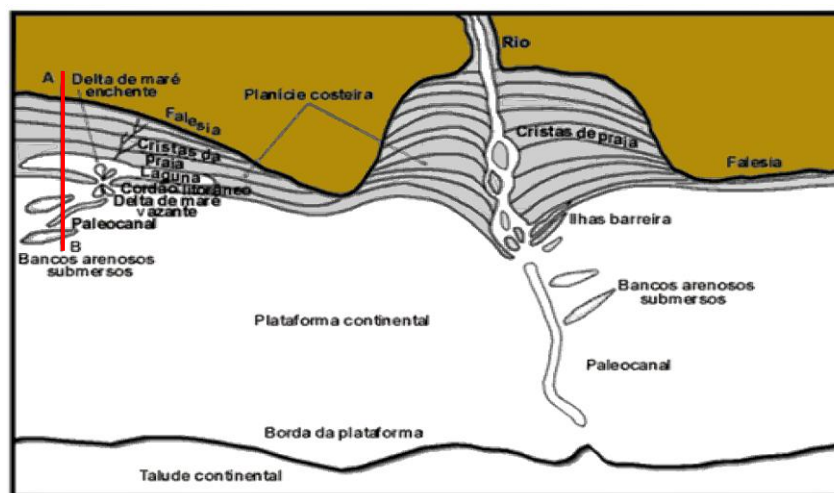


Figura 21 – Ambientes de sedimentação costeira e principais depósitos arenosos associados. Alternâncias do nível relativo do mar expõem a plataforma continental durante o mar baixo. Os ambientes fluviais podem se estender até a quebra da plataforma e serem retrabalhados durante a elevação do nível do mar, remanescendo como paleocanais submersos e bancos arenosos submarinos. Fonte: modificado de Silva *et al.*, 2000.

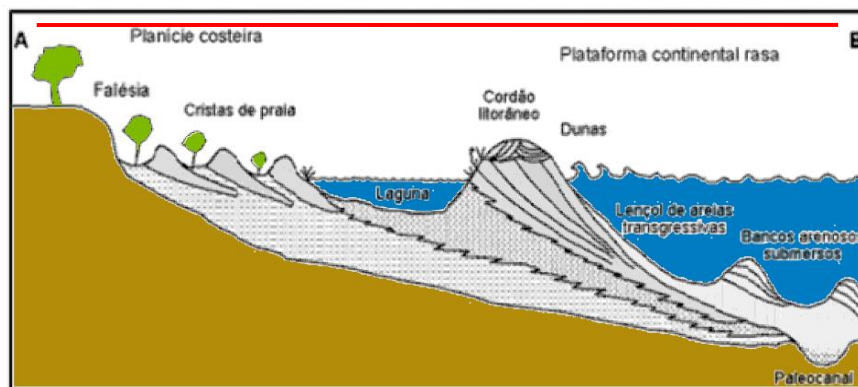


Figura 22 – Perfil esquemático A-B marcado na figura 21. A seção mostra a disposição estratigráfica de uma sequência sedimentar em ambiente costeiro. Fonte: modificado de Silva *et al.* (2000).

PROSPECÇÃO

Grande parte das reservas e áreas de extração está situada na plataforma continental interna, muitas vezes em profundidades inferiores a 50 m, o que é recuperável com o emprego de dragas mecânicas e hidráulicas.

As dragas retiram o material do fundo submarino para grandes barcaças e navios ou o levam diretamente para o local de interesse, no caso de projetos de recuperação de praias (Silva *et al.*, 2000).

A aplicação de ferramentas geofísicas que permitam a coleta de dados referentes à espessura, arranjo e composição dos corpos sedimentares é fundamental para a investigação de recursos minerais marinhos (Silva *et al.*, 2000).

Dentre os métodos de prospecção estão a sísmica de reflexão de alta resolução, para identificação da espessura e geometria dos depósitos, os métodos de batimetria, incluindo batimetria por multifeixe e a sonografia, para observação da extensão lateral dos depósitos e das características superficiais da distribuição. Sondagens com coleta de amostras são realizadas com o objetivo de obter dados sobre a composição mineralógica e natureza granulométrica dos sedimentos (Silva *et al.*, 2000).

No Brasil, a atividade de exploração deste recurso minerais é pontual e inconstante. Sua principal destinação é a recuperação de praias nas principais áreas metropolitanas. As informações a respeito das jazidas de granulados litoclásticos ainda são de caráter regional e carecem de estudos detalhados para a caracterização dos depósitos e determinação dos volumes envolvidos (Silva *et al.*, 2000).

APLICAÇÕES

Os granulados litoclásticos marinhos são utilizados na construção civil, em projetos de regeneração de praias, no aterro hidráulico, na indústria química, na indústria de vidro, em abrasivos e para moldes de fundição. Mundialmente, depois dos hidrocarbonetos de petróleo, os granulados litoclásticos são os depósitos marinhos mais extraídos do fundo dos oceanos. As dimensões desses depósitos variam de dezenas a centena de metros de largura, centenas de quilômetros de extensão e 10 a 20 metros de espessura (Reineck & Singh, 1980; *apud* Silva *et al.*, 2000).

IMPACTOS AMBIENTAIS

A dragagem afeta diretamente os organismos bentônicos. Ela pode implicar em alterações na qualidade, temperatura e turbidez da água, o que prejudica organismos

planctônicos. Há também a possibilidade de modificação do padrão de ondas e de transporte de sedimentos, afetando a linha de costa adjacente e causando erosão costeira (Silva *et al.*, 2000).

2.3.2. PLACERES DE MINERAIS PESADOS

Os placeres são depósitos constituídos por acumulações sedimentares formadas pela concentração mecânica de minerais detríticos mais densos que o quartzo e de valor econômico. São conhecidos como minerais pesados em função de sua alta gravidade específica (entre 2,1 e 2,9 g/cm³), superior a do quartzo (2,65 g/cm³) (Silva, 2000).

Dividem-se em minerais cuja gravidade específica compreende valores entre 2,1 e 6,8 g/cm³, ditos minerais pesados “pesados”, minerais de gravidade específica entre 5,3 e 4,2 g/cm³, ditos pesados “leves” e gemas de gravidade específica entre 4,1 e 2,9 g/cm³. Os minerais chamados pesados “pesados” englobam o ouro, a platina e a cassiterita e são transportados por curtas distâncias (15 a 20 km). Já os pesados “leves” chegam às zonas costeiras e se concentram em ambientes de alta energia, como é o caso da ilmenita, um dos focos deste trabalho, o rutilo, o zircão, a monazita e a magnetita. Classificado como gema, está o diamante, que se concentra em aluviões, praias e na plataforma continental (Emery & Noakes, 1968, *apud* Silva, 2000).

Os minerais pesados e outros detríticos são liberados devido erosão das rochas, causada por agentes superficiais como água fluvial e pluvial, vento, gelo e ação da gravidade e transportados para o litoral. Lá, devido ação de ondas, correntes costeiras e variações eustáticas do nível do mar (esta última característica do período Quaternário), os minerais “leves” são retirados e os de densidade elevada são concentrados, originando os placeres de praia (Silva, 2000).

Segundo o mesmo autor, os depósitos praias podem ser posteriormente afogados por eventos de avanço da linha de costa (transgressão) e permanecerem como corpos sedimentares submersos na plataforma continental ou, devido ao rebaixamento do nível do mar (regressão), ficar preservados na planície costeira como depósitos marinhos elevados, conhecidos como terraços (Figura 23).

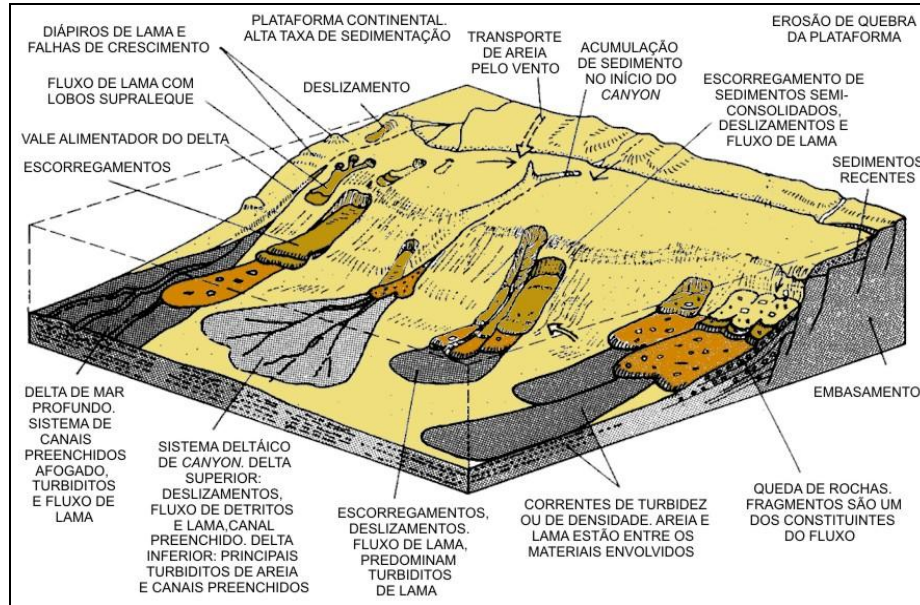


Figura 23 – Feições morfológicas em uma plataforma continental originadas por alternância do nível do mar, processos tectono-sedimentares e mudanças ambientais. Modificado de Seibold & Berger (1982).

Os minerais pesados associados a antigos cursos fluviais foram retrabalhados e redistribuídos no lençol de areias transgressivas que recobriu parte da plataforma continental. Este lençol transgressivo foi posteriormente recoberto por lamias e carbonatos de borda de plataforma, à medida que o nível do mar se elevava. Alguns depósitos de interesse econômico ficaram então preservados nos talvegues dos antigos canais afogados (Figura 24) (Silva, 2000).

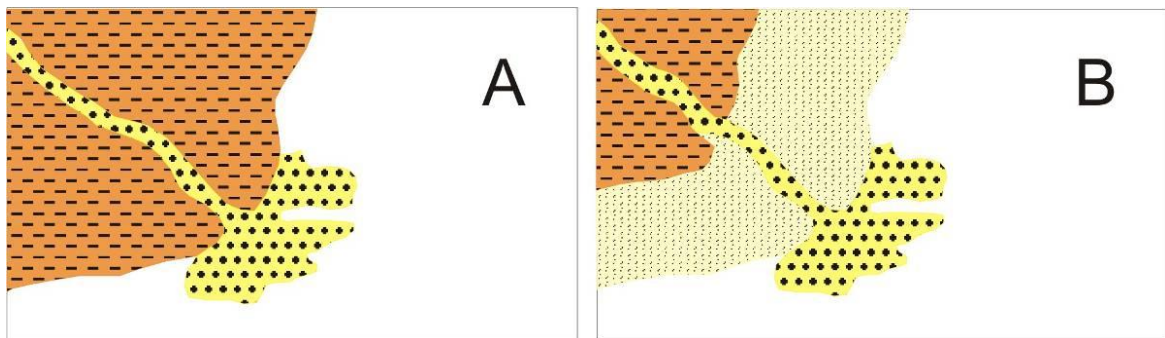


Figura 24 – Gênese dos depósitos de minerais pesados durante avanço da linha de costa. (A) Depósitos fluviais e deltaicos, incluindo o canal fluvial e as barras arenosas submarinas na desembocadura do canal. (B) Estes são afogados pela transgressão marinha, permanecendo na plataforma continental como depósitos submersos que por sua vez são retrabalhados pela ação das correntes e ondas. Silva (2000).

A exploração de depósitos constituídos por estes minerais é extensiva na Austrália, Brasil, Sri Lanka, Índia e EUA. A corporação Australiana Iluka é a principal fornecedora de zircão no mundo e a segunda maior fornecedora de ilmenita no mundo. É ainda detentora

das principais reservas na Austrália (112 milhões de toneladas), Sri Lanka (119 milhões de toneladas) e EUA (25 milhões de toneladas) (Silva, 2000).

No Brasil, as principais áreas de exploração de minerais pesados ocorrem em placeres associados a terraços marinhos elevados situados acima, ou adjacentes a falésias do Grupo Barreiras, no litoral sul da Bahia, Espírito Santo e norte do estado do Rio de Janeiro. As falésias, compostas pelos sedimentos semi-consolidados do Grupo Barreiras, foram erodidas pela ação das ondas e correntes costeiras e os minerais pesados (ilmenita, zircão, rutilo e monazita) foram concentrados nas praias atuais. Os placeres atuais sofreram os mesmos processos erosivos e deposicionais durante o Quaternário, quando o nível do mar era superior ao atual (Silva, 2000).

A exploração destes recursos minerais foi exercida pela Nuclemon (Nuclebrás Monazita S.A.), na década de 70, sucedida pelas Indústrias Nucleares Brasileiras (INB), cuja base operacional situa-se em Buena, litoral norte do estado do Rio de Janeiro (Silva, 2000).

Áreas de concentração anômala (teores acima de 0,5% na amostra total) de minerais pesados ocorrem na plataforma continental brasileira (Palma, 1979, *apud* Silva, 2000). Na plataforma continental norte/nordeste, as anomalias (registro de teores entre 0,5 e 2,4%) situam-se ao largo de Salinópolis (PA) e no trecho Jaguaribe-Apodí. Na plataforma nordeste/leste, teores superiores 1% foram registrados ao largo da desembocadura dos rios Pardo e Jequitinhonha (BA) e Doce (ES), além de trechos defronte às cidades de Itapemirim e Guarapari (ES) até Itabapoana (RJ). As maiores concentrações (teores de até 5% de pesados), porém, estão em paleocanais afogados ao largo do delta do rio Paraíba do Sul (RJ), no qual o principal mineral encontrado é a ilmenita. Na plataforma sudeste/sul, entre Iguape (SP) e Paranaguá (PR), teores anômalos de ilmenita (0,6 a 1,4%) são também relacionados à paleocanais afogados. Na plataforma do Rio Grande do Sul, ao largo das lagoas Mirim e dos Patos, ocorrem três áreas com teores anômalos de zircão e ilmenita em frente à barra de Rio Grande (teores de até 2,4%). A área mais importante está ao largo do Farol de Albardão, no Rio Grande do Sul, que apresenta teores superiores a 5,4% de ilmenita (Amaral, 1979, *apud* Silva, 2000).

Apesar das ocorrências relatadas, são poucos os estudos que confirmem a existência de depósitos de minerais pesados de interesse econômico na plataforma continental brasileira. Este é um dos objetivos do Programa de Reconhecimento dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Brasileira (REMLAC). O REMLAC objetiva a identificação e estudo de sítios potenciais para a ocorrência de recursos minerais marinhos, visando a delimitação de possíveis jazidas (Silva, 2000). O trabalho feito na Paraíba procura subsidiar o desenvolvido pela CPRM, por meio do REMLAC, oferecendo dados em escala de detalhe.

PROSPECÇÃO

A prospecção de depósitos de placeres tem como principal método o Geofísico. Este permite inferir a espessura da camada sedimentar, as principais superfícies de discordância e irregularidades do fundo e subfundo aquático, bem como regiões de anomalias magnéticas. Para tal, são utilizadas a sísmica (equipamentos de alta resolução como *boomer*, *sparker*, *mini-air gun*), a sonografia (sonar de varredura lateral) e a gradiometria magnética (gradiômetro magnético) (Silva, 2000).

Os testemunhos e sondagens são feitos por *vibracores*, sondas *Banka*, sondas rotativas ou a percussão e sondas por *air-lift* ou *jet-probe*, que são equipamentos robustos, já que os sedimentos que contêm minerais pesados são areias e cascalhos e testemunhadores a gravidade ou pistão são pouco efetivos. A exploração é feita por dragagem hidráulica ou mecânica (Silva, 2000).

IMPACTOS AMBIENTAIS

Silva (2000) afirma que a mineração interfere na pesca, na navegação e no turismo local. Os impactos ambientais da exploração de recursos minerais marinhos por intermédio de dragagens afetam o substrato marinho, os organismos que vivem na lâmina d'água, a posição da linha de costa e até mesmo as comunidades costeiras que retiram do mar recursos para sua sobrevivência. Características intrínsecas do meio ambiente, tais como temperatura e transparência da água, salinidade, quantidade de sedimentos em suspensão, hidrodinâmica das correntes de fundo e estrutura da comunidade bentônica são alteradas.

A delimitação das áreas de exploração, conservando áreas de maior sensibilidade ambiental e o limite da extensão dos blocos e do volume/espessura máxima permitida para exploração são formas de controle definidas por regulamentação ambiental (Silva, 2000).



2.4. INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM ÁREA SUBMERSA

A investigação de recursos minerais marinhos necessita de ferramentas geofísicas que permitam a coleta de dados de espessura, do arranjo e da composição do substrato marinho. Estas ferramentas de reconhecimento baseiam-se em métodos indiretos e diretos (Martins & Souza, 2007) e necessitam de adaptações tecnológicas, pois não são as mesmas ferramentas utilizadas em áreas emersas e submersas profundas (Souza, L. A. P. 2008). A possibilidade de alterações do equilíbrio dinâmico nestes ambientes, em períodos, horas, dias ou semanas, exige adaptações dos métodos de investigação convencionais, com a finalidade de caracterizar adequadamente estes ambientes geológicos (USACE, 2004, *apud* Souza, L. A. P. 2006).

Os métodos geofísicos utilizados neste trabalho são divididos em dois grupos, devido sua finalidade. São eles: estudo da superfície e estudo da subsuperfície do fundo oceânico. Os primeiros visam coletar dados que auxiliam a interpretação da morfologia (topografia) do fundo e natureza do material que o compõe. Para essa análise, foi usado o método de sonografia. Já o segundo grupo é utilizado para subsidiar a morfologia dos estratos sedimentares (espessura, estrutura, contatos geológicos) e a natureza do material que constitui esses estratos. Para esse fim, foi utilizada a sísmica de reflexão de alta resolução.

Dados de métodos diretos de observação não foram empregados nesta pesquisa. Eles consistem em amostragens pontuais da superfície de fundo para a caracterização da natureza deste, subsidiada por ensaios laboratoriais. Este trabalho estabelece pontos de interesse para coleta de amostras de material geológico, para que possam ser correlacionadas a dados geofísicos, aqui apresentados, visando a confecção de mapa de detalhe da geologia da área mapeada.

A tabela 2 mostra um resumo dos métodos geofísicos indiretos e diretos, os respectivos equipamentos e suas aplicações na pesquisa.

Tabela 2 – Resumo dos métodos diretos e geofísicos indiretos e os respectivos equipamentos e aplicações destinados à pesquisa mineral geológica. Modificado de Ayres Neto (2000).

Método	Equipamento	Aplicação
Amostragem	Amostrador <i>Van Veen</i>	Mapear variações da cobertura sedimentar do fundo marinho e características físicas dos sedimentos. Permite definir a natureza do fundo, a quantidade de minerais e realizar análises de detalhe. Sua realização é orientada pelos métodos geofísicos indiretos.
	Testemunhadores	
Sísmico	Perfilador acústico de subfundo	Permite distinguir os horizontes (camadas) sedimentares e a disposição estrutural destes; identificar diferentes tipos de sedimentos por meio de eco-caráter; estimar a espessura dos estratos rasos e mapear estruturas subsuperficiais associadas a antigos canais fluviais na plataforma continental. Métodos de interpolação geoestatísticos são usados para construir mapas de isópacas.
Acústico	Sonar de varredura lateral	O método permite delimitar fácies correspondentes a variações morfológicas devido topografia ou existência de objetos e caracterização da litologia superficial. Usado, portanto, no mapeamento de areias e cascalhos e identificação de corais, placeres e <i>beach-rocks</i> . Registros podem compor um mosaico para devida interpretação.

2.4.1. MÉTODOS DIRETOS DE INVESTIGAÇÃO

Os métodos diretos de investigação são aplicados após os indiretos. Estes últimos servem de auxílio à indicação de locais favoráveis à amostragem geológica do fundo marinho.

Os recursos minerais marinhos podem ocorrer distribuídos em superfície ou em subsuperfície e a avaliação dos depósitos depende do emprego de amostradores que possam colher amostragens representativas (Ayres Neto, 2000).

O *Van Veen* é um exemplo de amostrador de fundo do tipo superficial e pontual. Um dos modelos desse equipamento possui 40 quilos e capacidade de 30 - 40 litros. Alcança máximo de 500 a 800 metros de profundidade e é capaz de recolher areia, lama e cascalho. Ele é constituído por duas conchas articuladas por uma dobradiça por meio de duas barras cruzadas, presas ao cabo de aço ligado à embarcação (Figura 25). As conchas se mantêm abertas por um sistema de trava que é liberado assim que o equipamento toca o fundo. O recolhimento do cabo faz com que as conchas se fechem apanhando o sedimento. Por não ter vedação perfeita, pode ocorrer lavagem de amostra (Ayres Neto, 2000).

Outro tipo de amostrador de fundo é o testemunhador (Figura 26). Ele é um amostrador pontual de sub-superfície e permitem amostragem desde a interface água-sedimento de fundo até dezenas de metros. São equipamentos pesados e têm como principal propriedade preservar a estratigrafia dos sedimentos (Figueiredo Jr. e Brehme, 2000).



Figura 25 – Amostrador de superfície *Van Veen*.



Figura 26 – Amostrador de fundo do tipo testemunhador.

2.4.2.MÉTODOS INDIRETOS DE INVESTIGAÇÃO

CONCEITUAÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS

Os métodos de sonografia de varredura lateral e perfilagem acústica de subfundo baseiam-se na propagação de ondas acústicas, as quais são pouco absorvidas pela água do mar.

A velocidade de propagação de ondas acústicas em um meio qualquer é função de suas constantes elásticas: Módulo de Young / elasticidade (E), Módulo de Poisson (ν), Módulo de rigidez / cisalhamento (G) e Módulo de compressão (K). Estas constantes variam de acordo com o material e relacionam a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele.

As velocidades de propagação das ondas P (ondas longitudinais) e S (ondas transversais) são definidas pelas equação 1 e equação 2, respectivamente:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (\text{EQUAÇÃO 1}) \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (\text{EQUAÇÃO 2})$$

Onde V_p é a velocidade da onda P, V_s é a velocidade da onda S, ρ é a densidade do meio em que a onda se propaga, K é o Módulo de compressibilidade e μ é a rigidez do material atravessado.

Sendo o módulo de rigidez da água é igual a zero, as ondas do tipo S não conseguem se propagar neste meio. Na água do mar as ondas acústicas se propagam a velocidade de cerca de 1500 m/s. A variação da velocidade na água do mar depende basicamente da salinidade e não sofre muita influência devido à pressão ou temperatura. Já a velocidade de propagação nos sedimentos, depende de duas constantes: os módulos de compressão e rigidez.

Na aplicação de métodos de sísmica rasa, a velocidade do som na água do mar pode ser considerada constante porque a variação gerada pelas variações de temperatura, pressão e salinidade de diversos lugares são relativamente pequenas. Já nos sedimentos, a densidade está atrelada à mineralogia, porosidade e teor de água, fatores que variam localmente (Ayres Neto, 2000).

2.4.2.1. PERFILAGEM SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

O MÉTODO

A perfilagem sísmica é um método acústico baseado na propagação de ondas elásticas, também chamadas ondas sísmicas, em diferentes tipos de materiais. A medida do tempo de chegada dessas ondas em diferentes pontos permite determinar a distribuição de velocidade e localizar interfaces de reflexão das ondas. A reflexão ocorre quando o sinal sísmico encontra materiais com impedância acústica diferente daquele onde está se propagando. Observando-se o tempo de chegada destas ondas em diferentes pontos, é possível determinar a distribuição de velocidades e localizar interfaces onde as ondas são refletidas (Ayres Neto, 2000). O sinal será refletido quando incidir em um material com impedância acústica diferente daquele onde está se propagando.

A impedância acústica I é definida como o produto entre a velocidade do som V e a densidade ρ de um determinado meio conforme a equação 3.

$$I = V \cdot \rho \quad (\text{EQUAÇÃO 3})$$

O coeficiente de reflexão é função da diferença de impedância acústica entre dois meios. Quanto maior for esta diferença, maior será a quantidade de energia refletida. Dessa forma, sedimentos compactados, densos, com baixo teor de água, refletirão maior quantidade de energia, bem como os afloramentos rochosos. Da mesma forma, sedimentos porosos e saturados, com densidade próxima a da água do mar, terão baixa refletividade (Souza, L. A. P. 2006).

O coeficiente de reflexão R , ou amplitude do sinal refletido, é função de uma interação de fatores. Para ângulos de incidência normal à superfície refletora, ele é definido como a razão entre a amplitude do sinal refletido e a amplitude da onda incidente, conforme a equação 4 (Sharma, 1997, *apud* Ayres Neto, 2000).

$$R_C = \frac{A_R}{A_I} = \frac{(P_2 V_2 - P_1 V_1)}{(P_2 V_2 + P_1 V_1)} \quad (\text{EQUAÇÃO 4})$$

Onde R_C é o coeficiente de reflexão, A_R é a amplitude do sinal refletido, A_I é a amplitude do sinal incidente, ρ_x é a densidade do meio e V_x é a velocidade do meio.

Dessa forma, o coeficiente de reflexão depende do contraste de impedância acústica, (produto da velocidade pela densidade) (ver equação 3), entre dois meios físicos. Estas interfaces aparecem nos registros sísmicos como horizontes refletora ou refletora sísmicos e cada refletor representa uma camada geológica (Figura 27). De forma geral, quanto mais alto for o espectro de frequência de uma fonte sísmica, maior será sua atenuação e conseqüentemente, menor sua capacidade de penetração abaixo do assoalho oceânico (Ayres Neto, 2000).

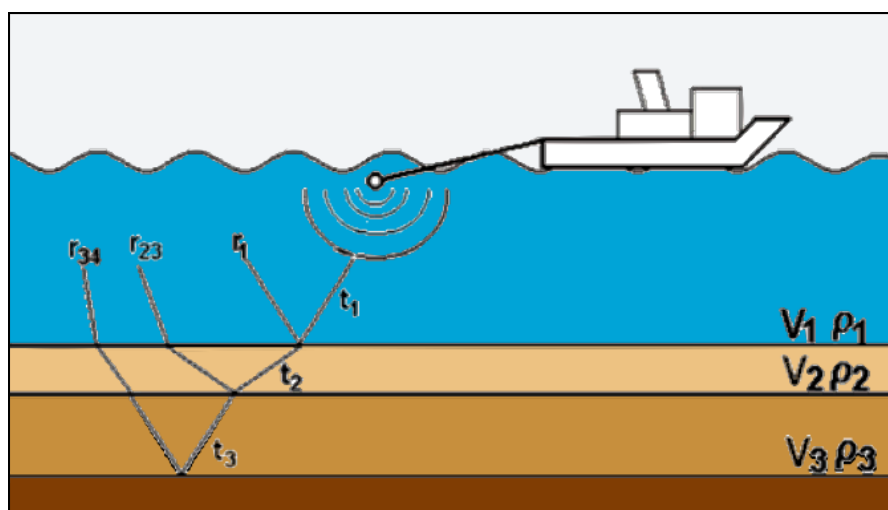


Figura 27 – Transmissão (t_x) e reflexão (r_x) do sinal sísmico de acordo com a variação da impedância acústica das camadas abaixo do fundo. Fonte: Modificada de Ayres Neto (2000).

A superfície que delinea o contato entre dois meios acusticamente distintos e que numa seção sísmica é representada por uma linha contínua (eventualmente não), é denominada refletor sísmico ou simplesmente refletor (Souza, L. A. P. 2006).

APLICAÇÕES

O método de perfilagem sísmica é utilizado para auxiliar o mapeamento de estruturas subsuperficiais associadas a antigos canais fluviais na plataforma continental, a identificação de diferentes tipos de sedimentos por meio de eco-caráter, a obtenção de informações sobre a disposição estrutural e espessura de camadas sedimentares abaixo do fundo do mar, a distinção de falhamentos, localização de corais e acumulações rasas de gás biogênico (Ayres Neto, 2000).

O EQUIPAMENTO

Existem vários tipos de fontes sísmicas utilizadas na aquisição sísmica marinha, cada uma emitindo um sinal dentro de um determinado espectro de frequência e com uma assinatura característica conforme o tipo de aplicação desejada. Por isso cada tipo de fonte é utilizado para uma finalidade.

Os canhões de ar (Air gun) de grande volume emitem um sinal de baixa frequência, em torno de 60 Hz, e são usados para investigação geológica até profundidades da ordem de 4 a 5 quilômetros abaixo do fundo marinho. É utilizado principalmente pela indústria do petróleo. À medida que a capacidade dos canhões de ar vai diminuindo mais alta será a banda do seu espectro de frequência. Canhões de ar com 10 polegadas cúbicas produzem um sinal na faixa de 300 - 400 Hz, o que possibilita uma penetração de 700 metros abaixo do fundo marinho (Ayres Neto, 2000).

Os *boomers* e *sparkers* trabalham com frequências de 500 a 1500 Hz e chegam a penetrar até 400 metros abaixo do fundo marinho. O sistema *sparker* também utiliza uma bolha de ar como fonte do sinal acústico. O *sparker* é constituído por uma série de centelhadores que ao receberem uma corrente elétrica de alta voltagem geram uma descarga elétrica dentro da água do mar. Esta descarga elétrica ioniza as moléculas de água criando uma bolha que ao colapsar devido à pressão hidrostática exercida pela água ao redor gera um sinal acústico característico. O sistema *boomer* também é um sistema elétrico como o *sparker*, mas utiliza outro sistema de geração de sinal. O *boomer* consiste em um sistema de bobinas que ao receberem uma corrente elétrica de alta voltagem geram um campo magnético que irá impulsionar uma placa coberta por uma membrana de borracha. O deslocamento brusco desta membrana, semelhante à batida de um tambor, gera um sinal acústico melhor definido do que o sinal gerado pelo *sparker* (Ayres Neto, 2000).

As fontes com frequências mais altas, como é o caso da utilizada neste trabalho, produzem registros com maior resolução, ou seja, permitem melhor definição das camadas

geológicas abaixo do fundo marinho. Para esta finalidade foram desenvolvidas fontes especiais, denominadas ressonantes, que emitem sinais na faixa de 3 – 7 kHz utilizando as propriedades piezo-elétricas de alguns cristais para geração do sinal acústico.

Diferentemente dos sistemas que utilizam *boomers* e *sparkers* como fontes sísmicas e que necessitam de um receptor (hidrofonos), as fontes ressonantes ou de forma de onda controlada (*Chirp*) são ao mesmo tempo emissores e receptores do sinal sísmico (Figura 28). As principais características destas fontes são a melhor repetibilidade do sinal emitido e a baixa potência necessária para geração dos sinais. São equipamentos mais simples e compactos permitindo a operação em embarcações de pequeno porte. A capacidade de penetração destas fontes pode chegar a 50 metros abaixo do fundo dependendo do tipo de sedimento.

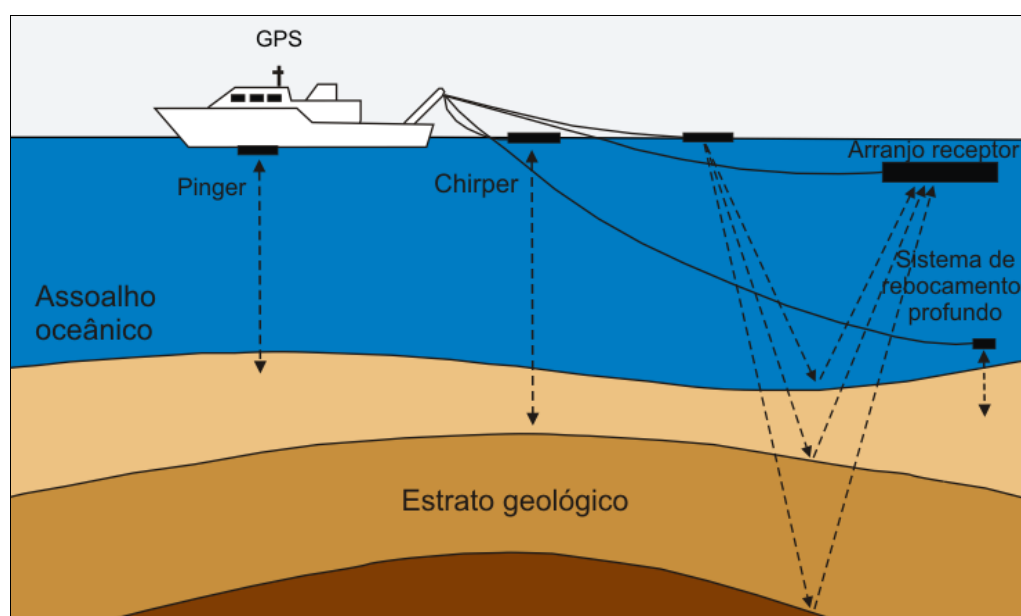


Figura 28 – Funcionamento de fontes acústicas. As ressonantes, como o *Chirp*, funcionam como emissores e receptores do sinal sísmico ao mesmo tempo, já as demais, como *boomer* e *sparker* necessitam de um receptor (hidrofonos). Fonte: Modificada de OzCoasts (2008), disponível em <http://www.ozcoasts.org.au/glossary/def_s-t.jsp>.

Neste trabalho foi empregado o perfilador acústico de subfundo *Benthos Chirp III*, com banda de frequência de 2 - 7 kHz (Figura 29).



Figura 29 – Perfilador acústico de subfundo *Benthos Chirp III*.

2.4.2.2. SONOGRAFIA DE VARREDURA LATERAL

O MÉTODO

O sonar de varredura lateral é um método acústico de investigação de áreas submersas baseado na propagação do som na água.

O transdutor é rebocado na água a profundidade constante e emite pulsos acústicos em intervalos de tempo regular. A imagem acústica é composta pela justaposição das informações obtidas e compõe o registro do fundo marinho, o qual se assemelha a uma fotografia aérea (Ayres Neto, 2000).

Entre as formas de classificação de sistemas de sonar de varredura, são aqui abordados dois tipos: os que são rebocados próximos ao fundo marinho (*deep-tow*) e os rebocados próximo a superfície da água do mar (*shallow-tow*) (Figura 30) (Ayres Neto, 2000).

Equipamentos *shallow-tow* operam em baixa frequência (6 a 12 kHz) e mapeiam feições de grande escala, tal como zonas de fratura e vulcões submarinos. Podem sondar áreas de até 20 mil km² em um dia e imagear faixas de 60 km (30 km para cada lado do equipamento) (Ayres Neto, 2000).

Já os sistemas *deep-tow* são menores e mais baratos. Eles operam em frequências de 100 a 500 kHz e podem varrer até 500 metros para cada lado. Eles possuem maior resolução e são usados para levantamentos ambientais e de engenharia *offshore*. O tipo de equipamento depende da escala do levantamento e do nível de resolução desejado. Quanto maior a definição, maior deve ser a frequência utilizada, porém, devido a maior absorção das altas frequências será necessário reduzir o alcance da varredura lateral.

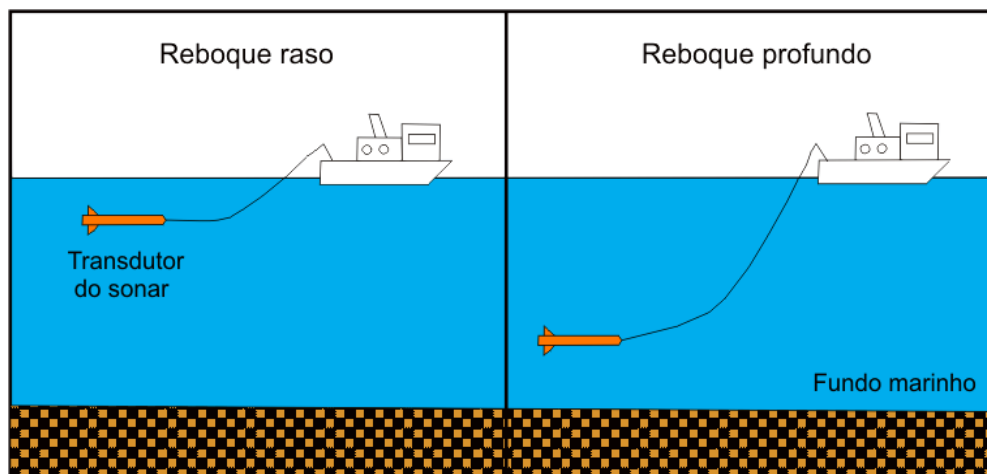


Figura 30 – Tipos de sistemas de sonar de varredura lateral: os rebocados próximo ao fundo marinho (*deep-town*) e os rebocados próximo a superfície da água do mar (*shallow-town*). Fonte: Modificado de Ayres Neto (2000).

O sinal emitido retorna com diferentes intensidades e configura a imagem sonográfica da área. As distintas intensidades devem-se ao ângulo de incidência, à atenuação das ondas acústicas e ao tipo de sedimento e morfologia de fundo. O ângulo de incidência é aquele formado entre o feixe incidente e a tangente do fundo oceânico. De forma geral, a quantidade de energia refletida é maior para os feixes internos e menor para os feixes externos e a distância entre o fundo marinho e o transdutor corresponde a 10% da varredura do equipamento (Ayres Neto, 2000).

A irregularidade do fundo marinho é a responsável pela dispersão de parte da energia acústica e pelo aumento da energia refletida em cristas de ondas de areia pequenas, já que causam um incremento da energia refletida em um flanco e dispersão da mesma em outro flanco. Quanto mais grosso o sedimento, maior a quantidade de energia refletida. Assim, uma areia grossa refletirá mais energia do que um sedimento lamoso (Souza, L. A. P. 2006).

Os sonogramas obtidos podem ser georreferenciados e organizados em mosaico, fornecendo uma imagem contínua do fundo. Para isso, é necessário que o levantamento seja realizado deixando uma margem de sobreposição (redundância) entre linhas de prospecção adjacentes. Por exemplo, com uma varredura de 75 metros para cada um dos canais do sonar de varredura lateral e uma malha amostral de 100 x 100 metros é possível cobrir 100% do fundo oceânico, com uma superposição de 50% (Figura 31). Esta superposição também é necessária porque os dados da borda externa do registro possuem resolução menor, sendo assim, podem ser corroborados por outra passagem do equipamento pelo mesmo local (Ayres Neto, 2000).

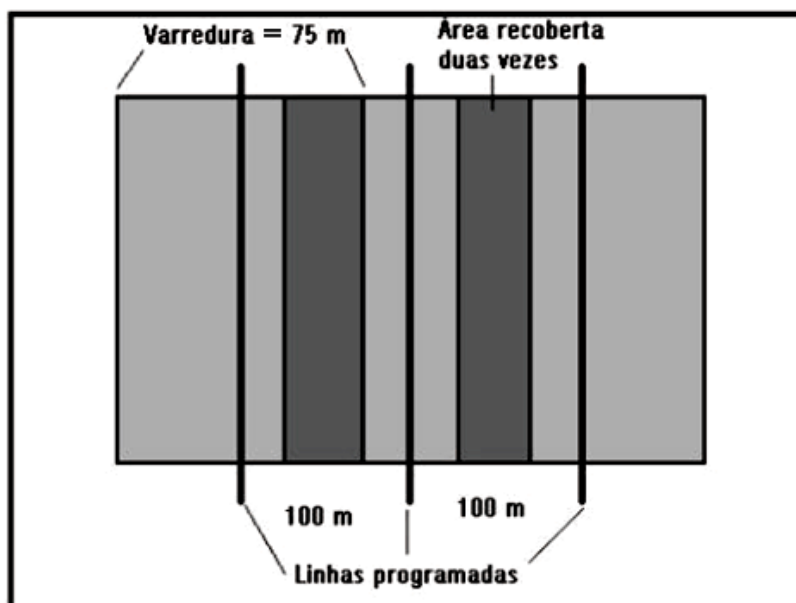


Figura 31 – Figura esquemática da cobertura do sonar de varredura lateral. Fonte: Ayres Neto (2000).

APLICAÇÕES

Sonares de varredura lateral são eficientes na cobertura de amplas áreas do fundo marinho, tanto em águas rasas como profundas. Podem atuar na localização de estruturas arqueológicas, objetos naufragados, contribuir para a determinação da morfologia do assoalho marinho, para a informação de características sedimentológicas, para a indicação da ação de correntes marinhas sobre estes sedimentos, para a instalação de cabos e dutos submarinos, para a indústria do petróleo, investigações ambientais e identificação de cardumes de peixes (Souza, L. A. P. 2006).

Áreas de planícies com extensos depósitos de areia e áreas com variedade geomorfológicas são mapeadas com eficiência pelo sonar de varredura lateral. A frequência usada nestas atividades é dependente do tamanho dos alvos e influencia a resolução. Frequências mais altas causam redução da linha lateral de cobertura da área de trabalho (Souza, L. A. P. 2006).

Na indústria do petróleo, áreas favoráveis a instalação de dutos são determinadas pelos sonares com acurácia. O estudo permite a exclusão de regiões de instabilidade sedimentar e a ciência das estruturas geológicas existentes (Souza, L. A. P. 2006).

As investigações ambientais também são assistidas pelo método. O sonar permite delimitar áreas de atuação de formas de vida marinha, como bio-construções (recifes e outras estruturas coralinas), colônias de moluscos e pradarias de plantas aquáticas. É aplicado ainda ao mapeamento de plumas de efluentes e áreas de reserva natural marinha (Simon *et al.*, 2007).

O EQUIPAMENTO

Os componentes do sonar de varredura lateral são o dispositivo de controle e gravação, o sensor subaquático (transdutor) e o cabo que os conecta.

Durante a operação, a unidade de controle do sonar carrega os capacitores dos transdutores por meio do cabo de reboque. Quando o gatilho é ativado, a potência armazenada é transferida para o transdutor, o qual emite o pulso acústico que se propaga na água. O transdutor altera então sua função de geração para a de recepção do pulso acústico e transfere ecos de retorno amplificados (ganho TVG - *Time Varied Gain*) à unidade de controle e gravação. Esta amplificação compensa a atenuação do eco ao longo de seu percurso e garante que objetos a diferentes distâncias do sensor sejam representados com a mesma intensidade. A diferença angular também é considerada nesta operação. A unidade de controle é responsável pelo processamento do sinal e o cálculo da posição no registro.

Atenuações: Um pulso acústico e seus respectivos ecos são atenuados rapidamente durante a propagação na água salgada. Os processos de atenuação por divergência e dispersão, em conjunto à absorção, são responsáveis pela limitação da distância máxima alcançada pelo eco. A absorção aumenta ao aumentar da frequência, portanto a escolha da frequência de trabalho condiciona a resolução e a distância máxima alcançada pelo sonar.

Correções: Os registros gravados pelo sonar de varredura lateral são distorcidos devido à instabilidade do sensor durante o reboque, às variações de velocidade do navio e à compressão dos dados causada pela variação de altura do sensor sobre o fundo. As correções são a de velocidade e a de distância inclinada (*slant range*) (Figura 32). Esta última representa, no registro, a distância entre o sensor e os pontos de fundo e sua correção elimina a área entre o gatilho e o primeiro eco do fundo correspondente a altura do sensor, além de corrigir a posição dos ecos a fim de gerar uma imagem em escada real. O reboque do sensor próximo ao fundo auxilia a redução do eco, porém acarreta risco de impacto do equipamento.

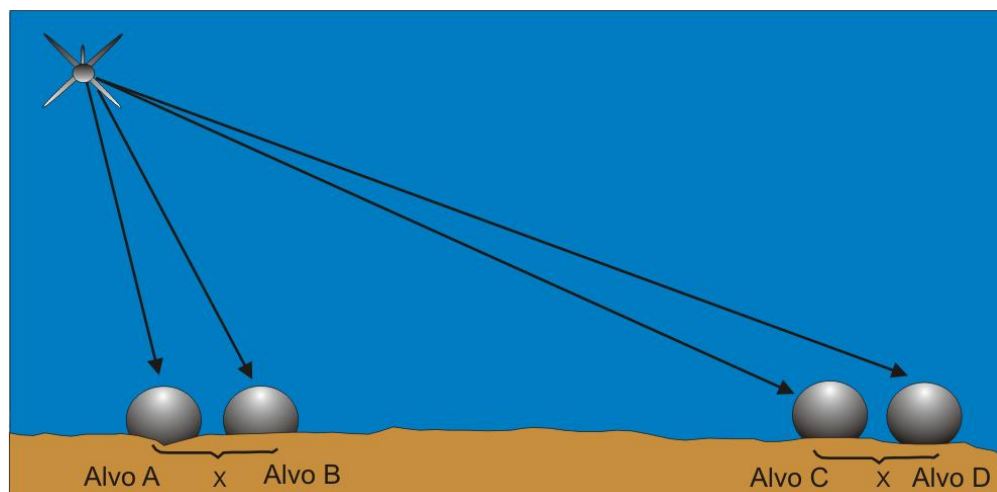


Figura 32 – A distância x entre os pontos **A** e **B** é a mesma distância x entre os pontos **C** e **D** quando o sensor está posicionado verticalmente. Da mesma forma, os tempos de viagem T_A e T_B serão semelhantes, bem como T_C e T_D .

Resolução: As potencialidades e limitações de um sistema de levantamento sonar são dependentes do comprimento temporal do pulso, abertura do feixe e velocidade de reboque. Existem dois tipos de resoluções, são elas: a resolução transversal e a resolução longitudinal. A resolução transversal é a distância mínima que permite representar separadamente dois objetos paralelos a trajetória do sensor. Esta distância mínima é equivalente a abertura do feixe, que aumenta com a distância transversal do sensor. A resolução transversal é dependente da velocidade de reboque do sensor, da frequência de emissão dos pulsos e da abertura horizontal dos feixes. Já a resolução longitudinal é a que deve existir entre 2 objetos perpendiculares a trajetória do sensor de modo a permitir sua representação como objetos separados. O comprimento (obtido pelo produto da duração do pulso pela velocidade do som na água) e o modo de propagação do pulso acústico determinam a resolução espacial. Pulsos de comprimento menor e frequência mais alta são utilizados para obter melhor resolução.

O sonar de varredura lateral utilizado neste trabalho foi o modelo 4100, com sensor TD272 de dupla frequência (100 - 500 kHz) e resolução de 0.5 - 1.2°, fabricado pela empresa *Edgetech* (Figura 33).



Figura 33 – Sonar de varredura lateral fabricado pela empresa *Edgetech*, utilizado neste trabalho.



3. RESULTADOS: INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

3.1. DADOS DE PERFILAGEM SÍSMICA (SBP)

Os dados desta pesquisa foram obtidos em levantamento com perfilador acústico de subfundo *Benthos Chirp III*, com banda de frequência de 2 - 7 kHz. Este tipo de sinal permite boa resolução das camadas subsuperficiais, mas pouca penetração, dificultando a identificação de estruturas abaixo de 10 metros do assoalho marinho, conforme o tipo de cobertura sedimentar deste (Ayres Neto, 2000).

O levantamento sísmico realizado nas duas áreas de trabalho foi feito em datas distintas, em duas campanhas. A disposição das linhas navegadas durante o levantamento com o perfilador acústico de subfundo, nas áreas 1 e 2 do projeto, é mostrada na figura 34.

Os registros de perfilagem sísmica permitiram interpretar a distribuição superficial de sedimentos no fundo do mar e a identificação de estruturas geológicas subsuperficiais, tais como paleocanais, que podem sugerir acúmulo de material de interesse econômico, como os depósitos de placeres de minerais pesados. Tal distribuição foi classificada segundo tipos distintos de padrões de ecocaráter, os quais refletem variações na textura, no teor de biodetritos e no tipo de sedimentos. Sedimentos arenosos, de modo geral, não permitem a penetração de sinal acústico e a observação de refletores. Já em sedimentos lamosos, o sinal acústico penetra e os refletores podem ser observados (Simões, 2007). Salienta-se que não existe um padrão estabelecido para a classificação dos tipos de ecos, o que dificulta a correlação de resultados de diferentes trabalhos.

Para a interpretação dos registros do perfilador de subfundo, é necessário saber que a existência de refletores acústicos está condicionada a variação de impedância acústica, decorrente dos diferentes graus de porosidade e compactação do material do fundo. Quanto à penetração do sinal, o parâmetro fundamental é a frequência deste, emitida pela fonte. Frequências mais baixas correspondem à maior poder penetrativo do sinal, enquanto frequências mais altas permitem melhor resolução. Assim sendo, por meio da amplitude do sinal de retorno, ou seja, sinal que transmite informações sobre a geologia do fundo marinho, é possível correlacionar a intensidade do eco com o tipo de cobertura sedimentar do fundo e identificar paleocanais e depósitos de granulados biodetríticos.

Os perfis sísmicos que continham paleocanais (Figura 35 e 36) foram selecionados e correlacionados às áreas correspondentes nos registros de sonar de varredura lateral. Da mesma forma, as regiões de ocorrência de biodetríticos foram correlacionadas aos respectivos registros do perfilador acústico.

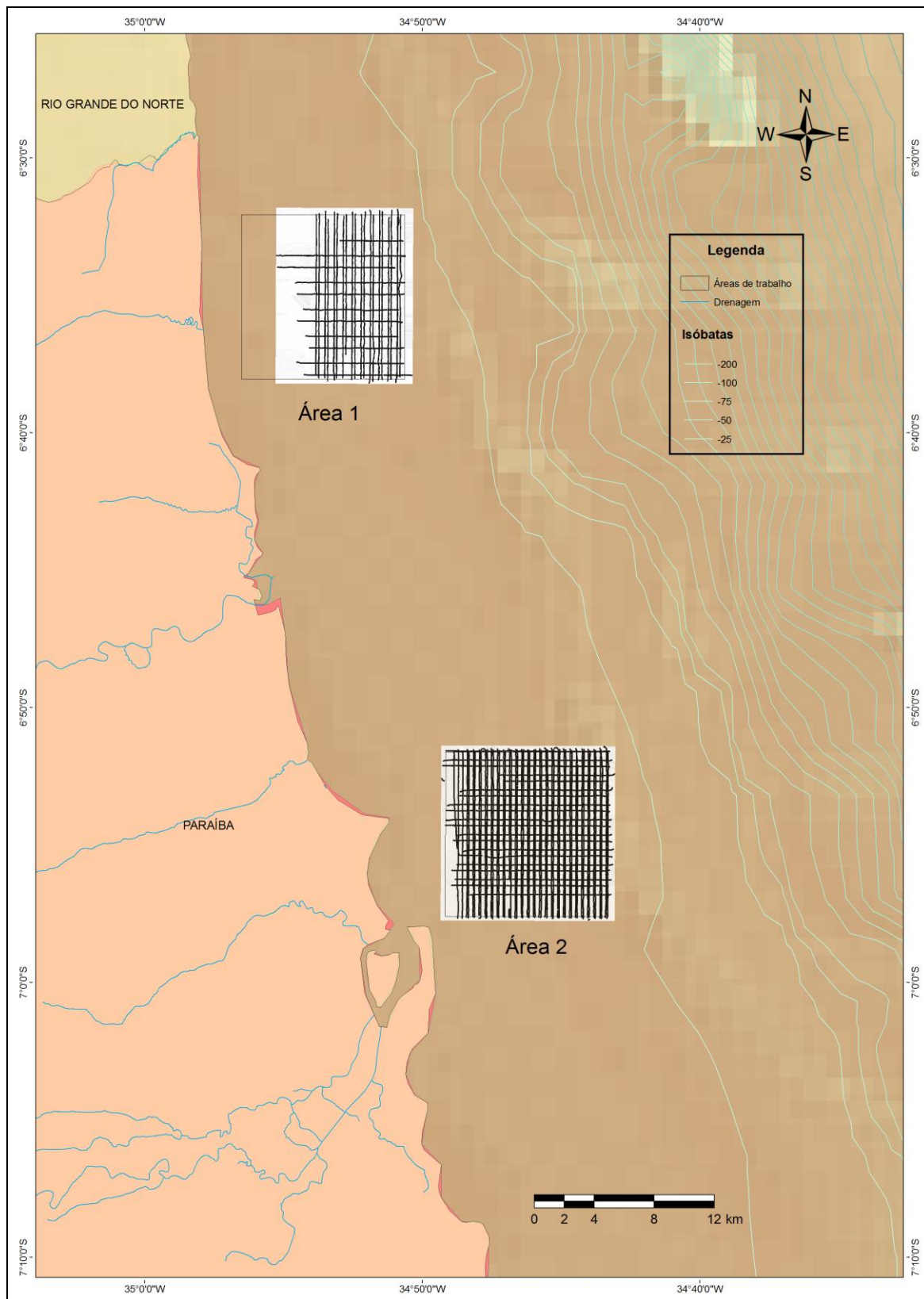


Figura 34 – Disposição de perfis sísmicos nas Áreas 1 e 2 de trabalho.

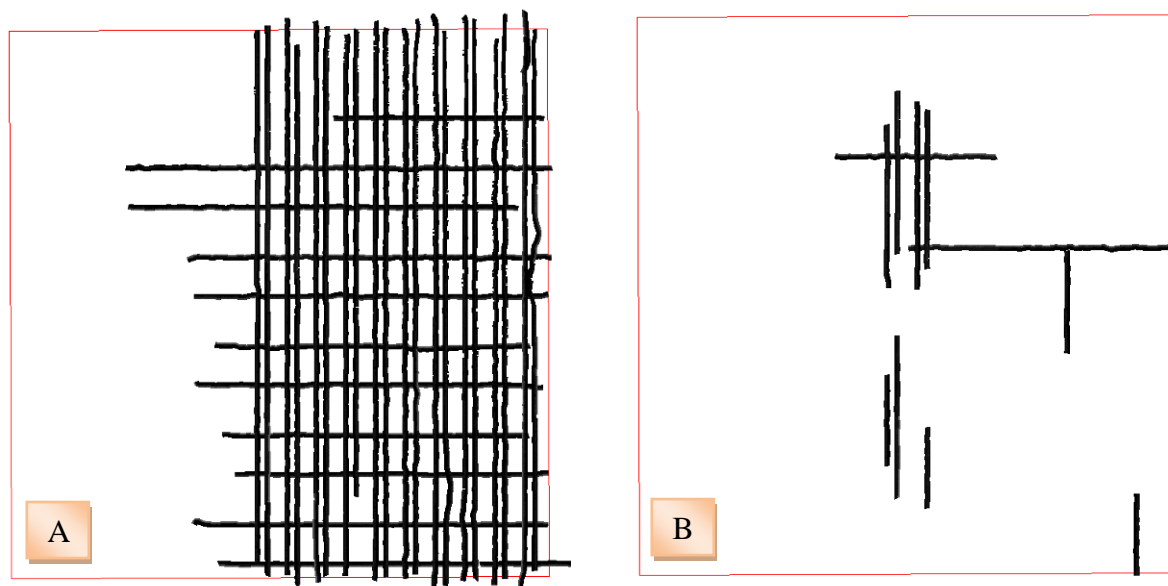


Figura 35 – Em A) Conjunto de perfis sísmicos obtidos com o perfilador acústico de subfundo na área 1 do Projeto Paraíba e em B) Linhas de interesse selecionadas dentre as linhas iniciais obtidas no levantamento.

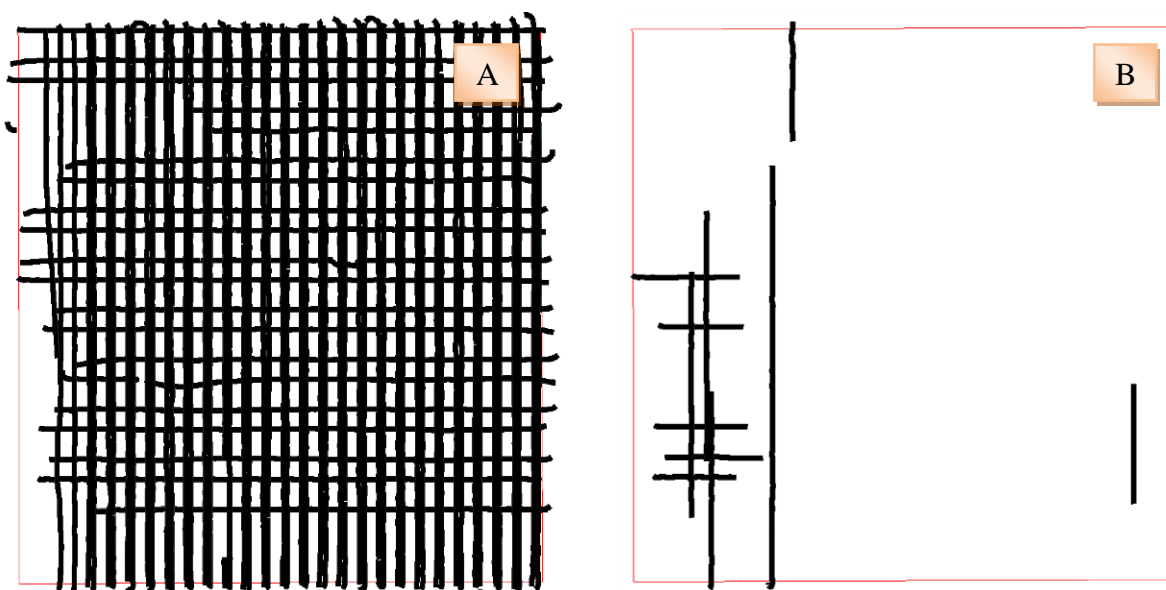


Figura 36 – Em A) Conjunto de perfis sísmicos obtidos com o perfilador acústico de subfundo na área 2 do Projeto Paraíba e em B) Linhas de interesse selecionadas dentre as primeiras.

3.2. DADOS DE SONOGRAFIA DE VARREDURA LATERAL (SSS)

Os dados de sonografia de varredura lateral foram adquiridos com o aparelho *Edgetech* 4100 portátil, com sensor TD272 e resolução de 0.5 - 1.2°. Os parâmetros utilizados foram frequência de 100 kHz e distância de varredura lateral de 200 m.

A campanha com o SSS nas áreas duas áreas do projeto visa localizar áreas sujeitas a deposição de material biotrófico que possam indicar possíveis depósitos de

granulados marinhos. O levantamento foi executado no período de 17/10/2009 a 31/10/2009, sendo 6 os dias para aquisição dos dados. Foi projetada uma malha amostral com perfis orientados NS, espaçados 300 m e perfis orientados EW, espaçados 500 m um do outro. A velocidade média de navegação atingiu 5 nós e o tempo gasto para a mudança de linha foram 10 minutos. As linhas imageadas durante a operação com o perfilador acústico de subfundo nas duas áreas do projeto são mostradas na figura 37.

Os registros de sonografia de varredura lateral selecionados nas duas áreas foram os referentes às regiões de feições com diferentes refletâncias e texturas, o que sugeria diferentes tipos de sedimentos. A delimitação dessas regiões é mostrada nos mosaicos, na figura 38, para a área 1 de trabalho e na figura 39 para a área 2 de trabalho. Esses mosaicos são o resultado da justaposição lateral das imagens obtidas pelo sonar de varredura lateral e foram gerados automaticamente por meio do *software SonarWiz.Map4*. Por meio deles a observação do conjunto de dados e a consistência lateral das feições geológica pode ser feita. A construção dos mosaicos seguiu algumas etapas, dentre elas: a correção da navegação, a fim de permitir a união dos registros sem descontinuidades morfológicas; a exclusão de partes dos registros correspondentes às viradas do navio, a ruídos ou instabilidades da embarcação; a remoção da lâmina de água e a equalização da amplitude dos ecos.

A interpretação dos registros do sonar de varredura lateral pode ser feita observando-se a morfologia do fundo marinho e a quantidade de energia refletida ou espalhada por esse após a incidência de um sinal acústico. Dessa forma, sendo o fundo marinho irregular, parte da energia sonora emitida pode não atingir a superfície, gerando áreas de sombra. Quanto à textura dos sedimentos, quanto mais fino for esse, menor será a energia retroespalhada pela superfície devido à menor diferença de impedância acústica e a reflexão quase especular. Da mesma forma, quanto mais grossa a textura do sedimento, maior quantidade de energia será refletida ou espalhada. Souza L. A. P (2006) afirma que a alta refletância de superfícies heterogêneas e rugosas é relacionada à maior probabilidade de existência de áreas com faces voltadas para o transdutor, o que aumenta o número de reflexões totais do sinal emitido. O mesmo autor menciona ainda que a intensidade do sinal oriundo da superfície de fundo é função também do ângulo de incidência do sinal emitido. Quanto mais rugosa a superfície de fundo e menor o ângulo de incidência, maior intensidade terá o sinal de retorno a ser registrado.

Na figura 38, as regiões destacadas em azul referem-se a porções das áreas onde ocorrem feições claras e sinuosas. O mesmo ocorre na figura 39, porém, em adição, a região delimitada em amarelo corresponde a área onde inferiu-se a existência de sedimentos finos e a porção verde a região de recifes.

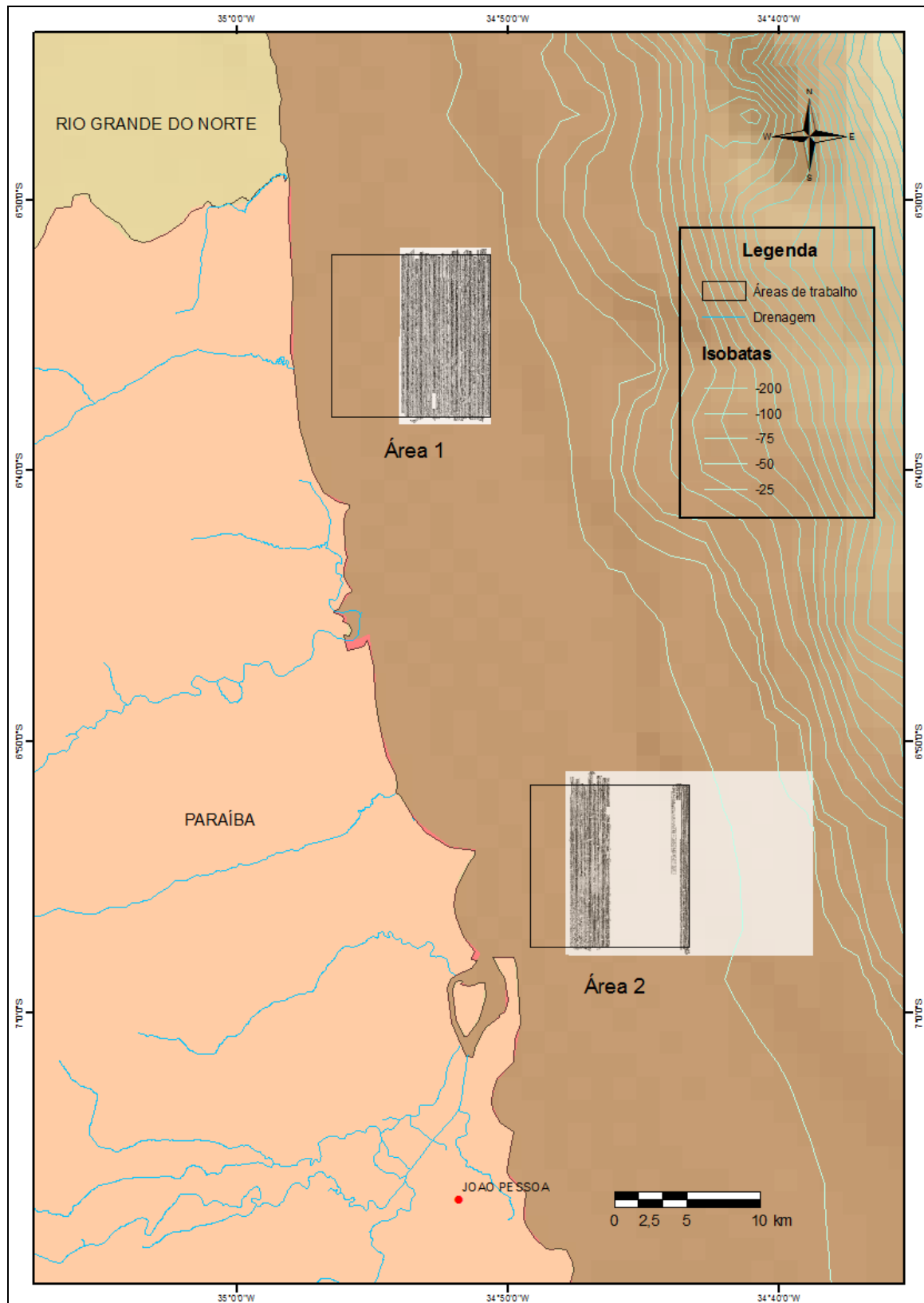


Figura 37 – Disposição das áreas de trabalho e respectivas regiões de cobertura das linhas referentes ao levantamento com o sonar de varredura lateral na plataforma da Paraíba.

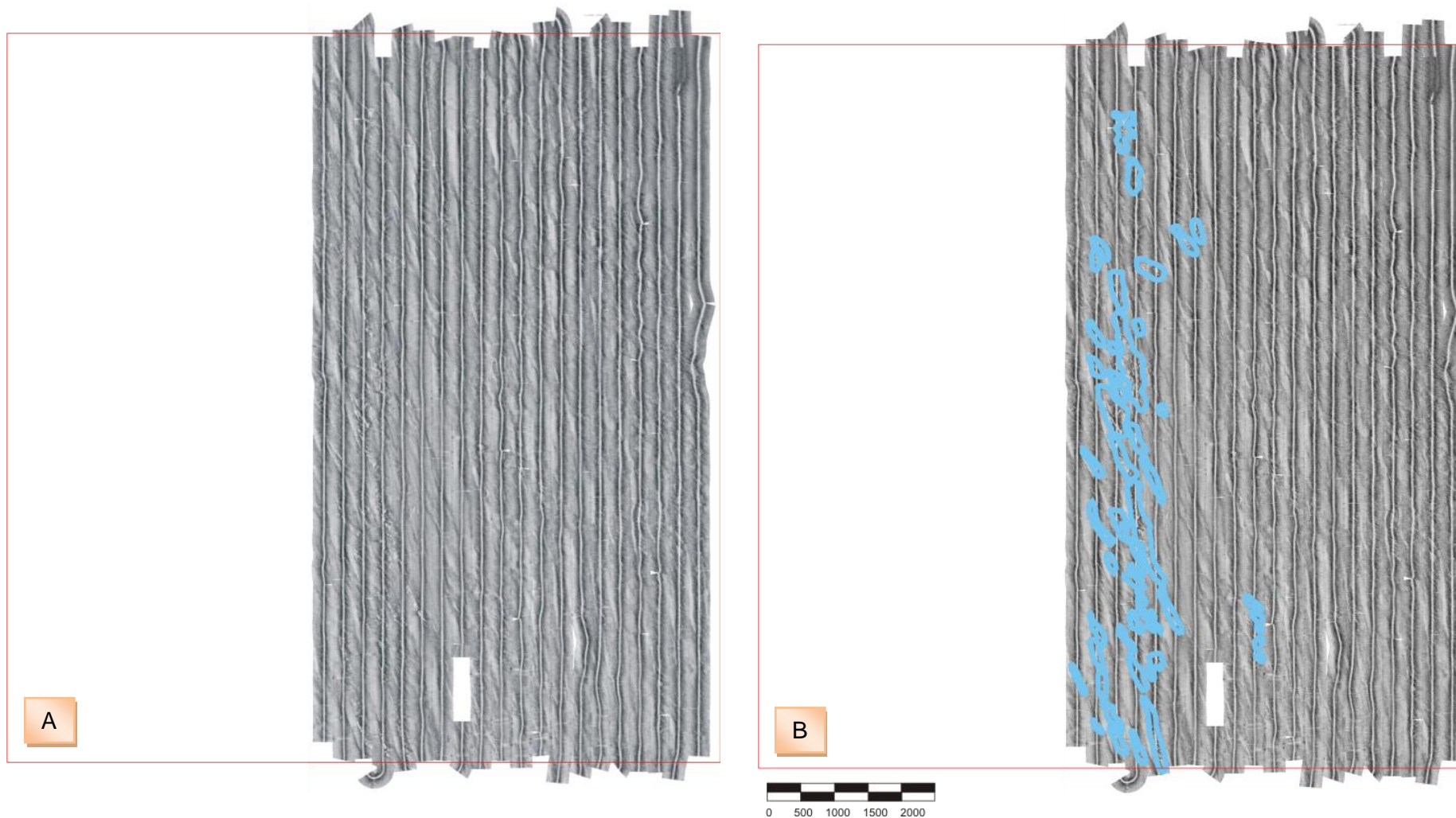


Figura 38 – Em A) Mosaico gerado com o conjunto de registros do sonar de varredura lateral na área 1 do Projeto Paraíba e em B) Digitalização da interpretação dos registros originais, destacando em azul as manchas sinuosas, claras e escuras, denominadas aqui como ondulações. Escala dada em metros.

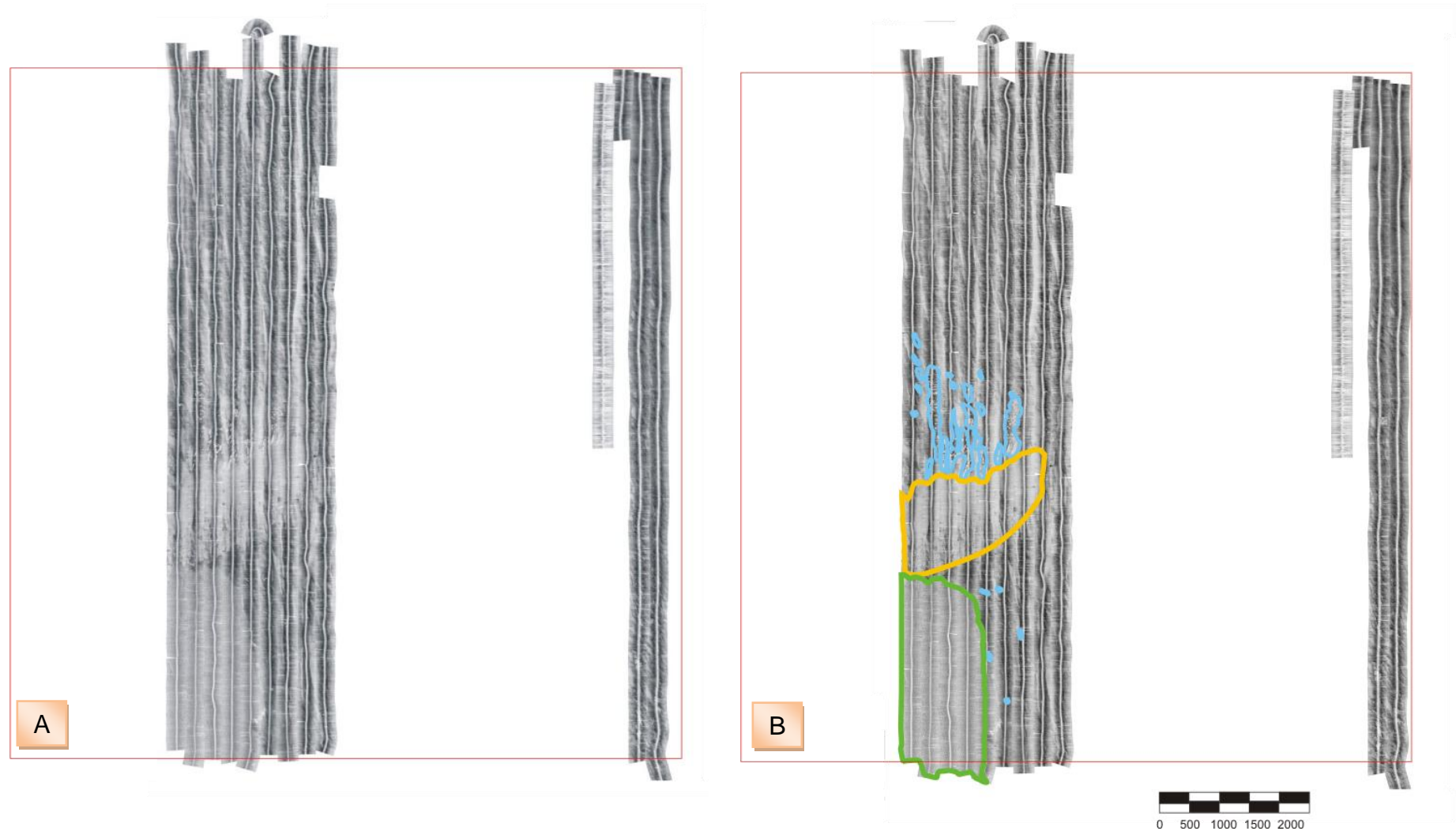


Figura 39 – Em A) Mosaico gerado com o conjunto de registros do sonar de varredura lateral na área 2 do Projeto Paraíba e em B) Digitalização da interpretação dos registros originais. Escala dada em metros. As porções em azul referem-se às áreas onde ocorrem feições claras e sinuosas, a região delimitada em amarelo corresponde a área onde inferiu-se a existência de sedimentos finos e a porção verde a região de recifes.

3.3. INTEGRAÇÃO DE DADOS SÍSMICOS E SONOGRÁFICOS

3.3.1. ÁREA 1

A Área 1 é caracterizada por um fundo marinho com expressiva cobertura arenosa, conforme resultados da sonografia acústica ilustrada na figura 38.

As principais feições encontradas nesta área são os paleocanais e as ondulações do fundo arenoso, evidenciadas tanto na análise dos registros do perfilador acústico de subfundo (SBP) quanto do sonar de varredura lateral (SSS).

OCORRÊNCIA Nº 1.1 (PALEOCANAIS RASOS)

Os paleocanais e demais refletores sísmicos observados nos registros desse trabalho são os elementos numa seção sísmica que simbolizam os contrastes de impedância detectados pelas ondas acústicas ao se propagarem através do meio, representando, portanto, os contatos entre meios geológicos com propriedades acústicas distintas. Quanto maior o contraste de impedância, ou seja, quanto maior o coeficiente de reflexão, maior será a nitidez com que será detectada a interface (o refletor) na seção obtida. Souza L. A. P (2006) menciona que na maior parte das vezes, depósitos de minerais pesados em placentas estão associados a depósitos de sedimentos grossos.

São aqui apresentadas as ocorrências de paleocanais rasos detectados pelo SBP, junto à interpretação da morfologia superficial individualizada pelo SSS. O trecho representado na figura 40 possui coordenadas centrais 291092.18 mE e 9268514.97 mN e lá, a profundidade do fundo oceânico é estimada em 12 metros. Salienta-se que os sinais acústicos do sonar de varredura lateral não são emitidos verticalmente para baixo, mas sim com certo ângulo em relação ao plano horizontal da superfície. Sendo assim, dados precisos de batimetria, ou seja, da espessura da coluna d'água, não podem ser obtidos diretamente dos registros (Souza L. A. P., 2006).

Dentre os registros de SBP nas áreas 1 e 2, não foi possível visualizar os contatos entre camadas sedimentares nem estabelecer a espessura dessas, pois em nenhum registro foi observada a que profundidade estaria o embasamento rochoso do substrato marinho. Acrescido a isso, a continuidade lateral dos horizontes refletores era rara em todos os trechos, inviabilizando uma interpretação mais profunda, a fim de correlacionar os dados com a geologia local, relatada em bibliografia.

Na figura 40, os painéis A e B representam a localização da linha de aquisição dentro da área de trabalho. O mosaico dos registros do sonar de varredura (painel A) evidencia uma área caracterizada por um fundo arenoso com elevada refletância,

interpretada como areias de granulometria média a grossa, típicas de ambientes de alta energia. São evidentes feições morfológicas orientadas no sentido NW associadas a sistema de dunas de areia (*sand waves*) transversais ao sistema de correntes dominantes. O painel C detalha o registro sonográfico de orientação norte-sul, com ondulações características de campos de *megaripples* arenosas. Já os painéis D e E ilustram a resposta do perfilador de subfundo e sua respectiva interpretação ao longo da mesma secção. São evidentes nos perfis dois refletores côncavos com profundidade de cerca de 5 m abaixo do fundo, interpretados como paleocanais rasos. O paleocanal raso, à esquerda, possui extensão total estimada de 95 m. Salienta-se que a ondulação do assoalho oceânico pode ser afetada pela ressaca.

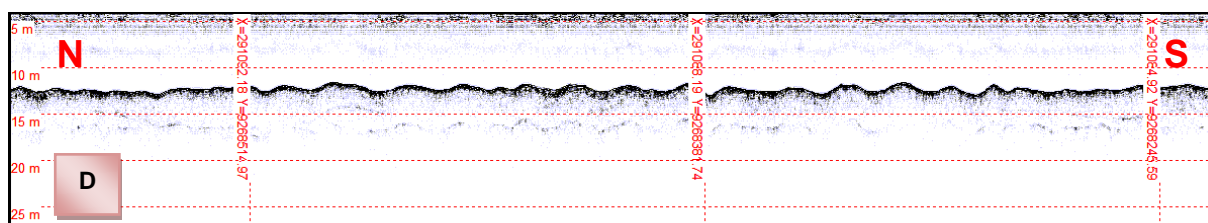
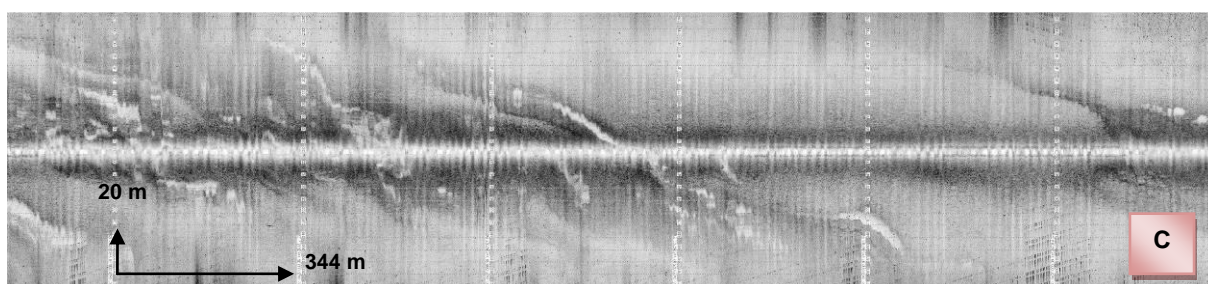
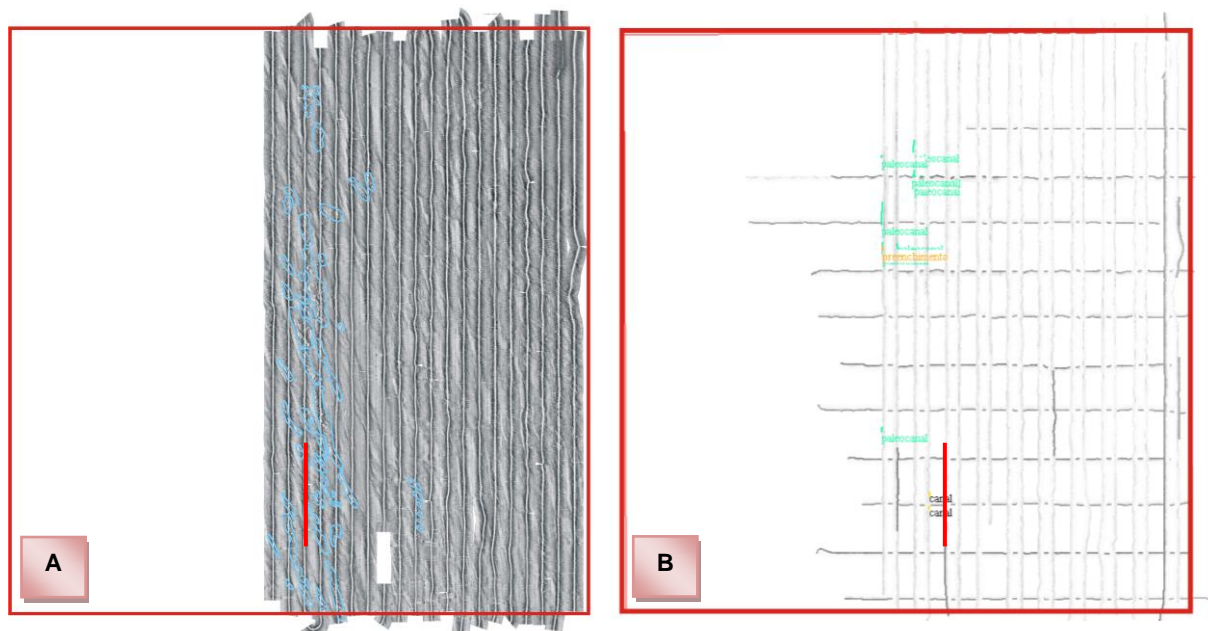




Figura 40 – Figura esquemática da região de canal submerso, na área 1 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).

OCORRÊNCIA Nº 1.2 (PALEOCANAIS)

O trecho ilustrado na figura 41 possui coordenadas centrais 291092.18 mE e 9268514.97 mN. Os paleocanais identificados representam locais de possíveis depósitos minerais de placeres e puderam ser reconhecidos em perfis sísmicos paralelos e transversais a linha de costa. Neste trecho, o fundo marinho mapeado situa-se a cerca de 13 metros de profundidade e o paleocanal possui continuidade lateral a esquerda do retratado nos painéis D e E.

Os painéis A e B, na figura 41 contêm o posicionamento das linhas de aquisição dentro da área de trabalho, ambas no sentido NS. O registro de SSS (painel C) evidencia um fundo arenoso, caracterizado pela predominância de areia média a fina e dunas de baixa amplitude. Os painéis D e E são o registro do SBP e a interpretação deste, respectivamente. É evidente no perfil, um refletor que possui continuidade lateral, a cerca de 10 m abaixo do fundo marinho, interpretado como paleocanal. As ondas de areia de baixa amplitude, visualizadas no registro do SSS, podem aqui ser confirmadas.

O painel D ilustra o registro sem a operação de traqueamento ou demarcação do fundo (*bottom tracking*) e a aplicação dos ganhos (AGC, UGC, TVG).

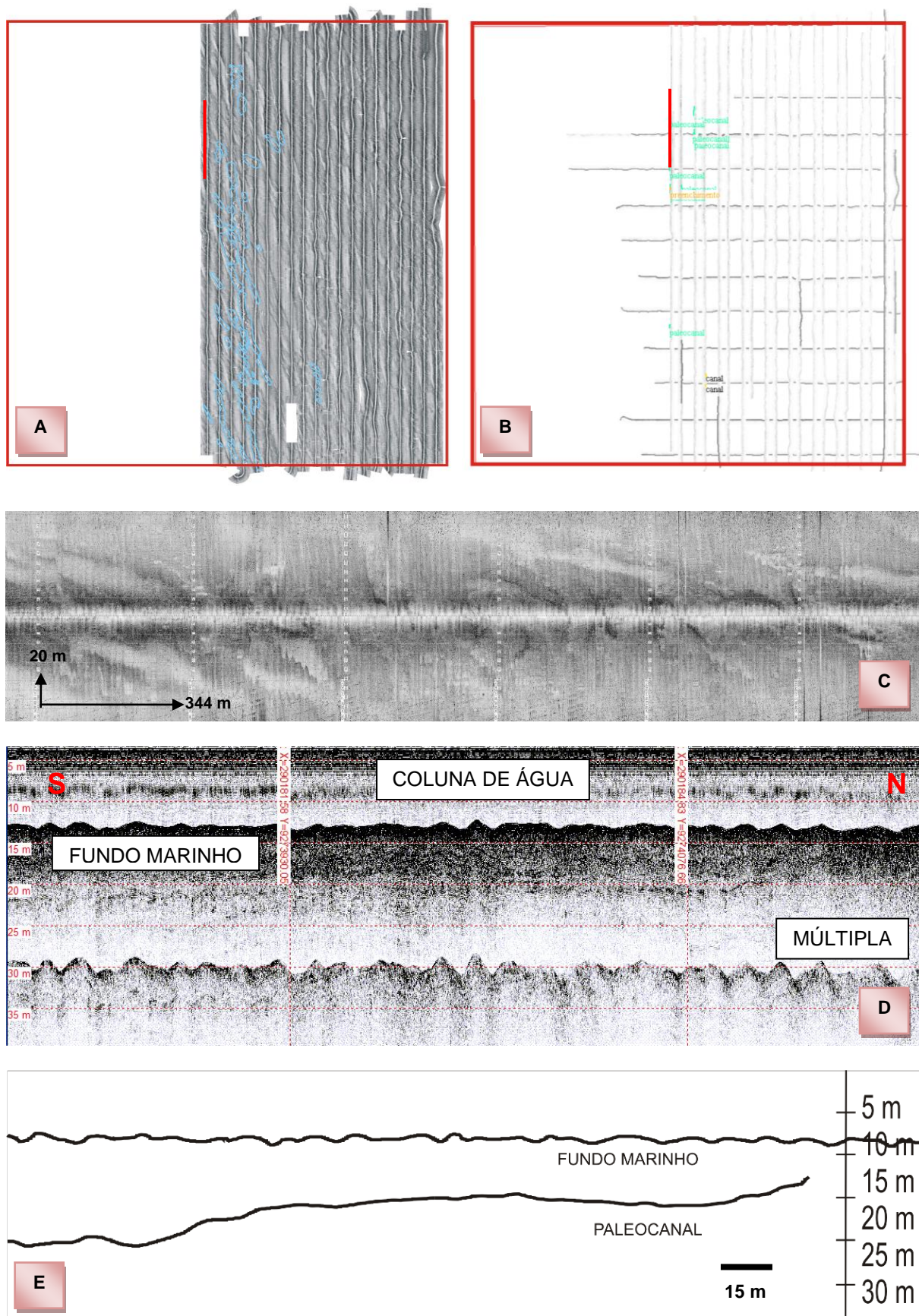


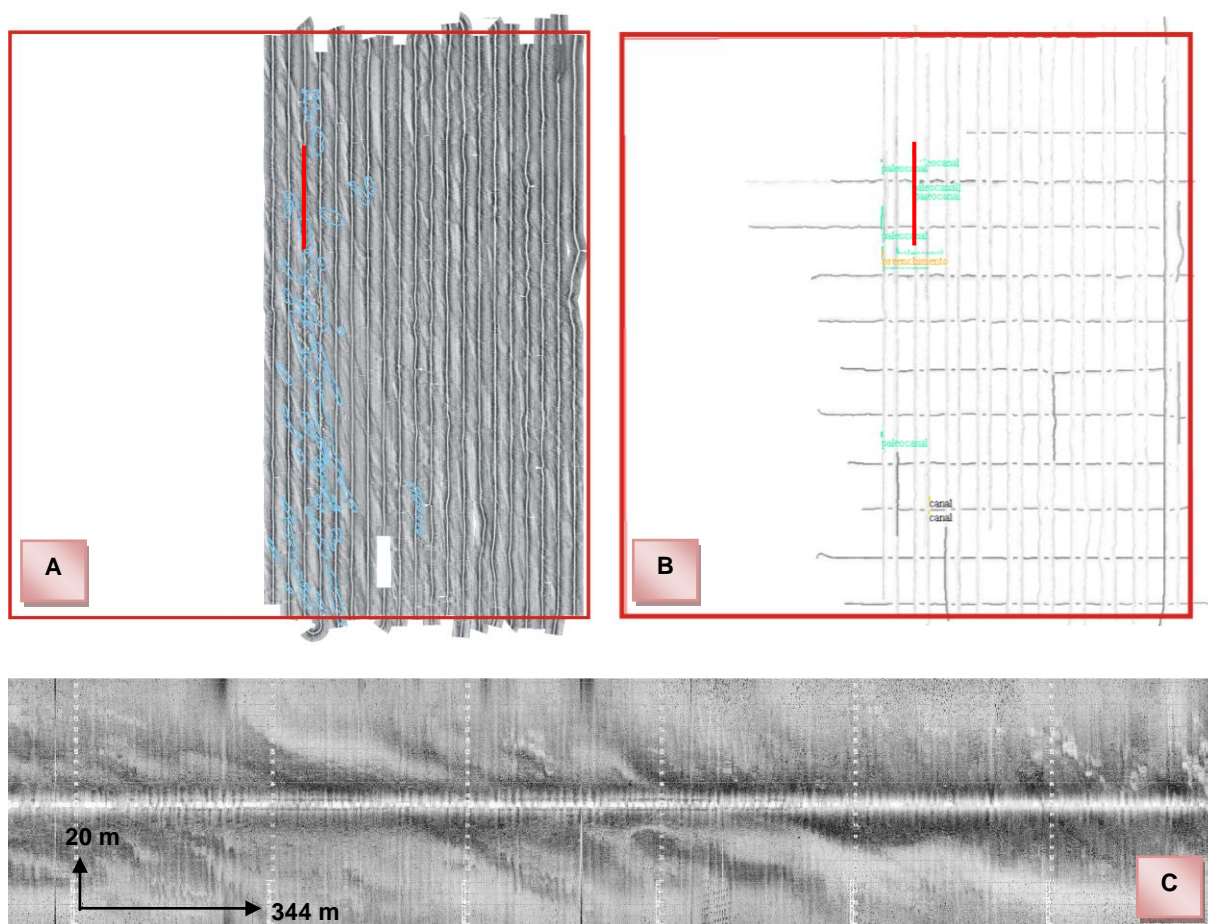
Figura 41 – Figura esquemática de região de paleocanal, na área 1 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).

A figura 42 ilustra outro exemplo de ocorrência de paleocanais na área. Esta possui coordenadas centrais 290788.09 mE e 9275220.28 mN. São linhas NS situadas na porção superior da área (painéis A e B).

O registro do SSS (painel C) demonstra um fundo arenoso com elevada refletância, por isso, infere-se a existência de areias de granulometria média a grossa. Sedimentos dessa natureza refletem sedimentação em ambientes de alta energia. O painel D ilustra o registro do SBP na mesma área, porém com a utilização do filtro “*swell filter*”, o qual retira o efeito oscilatório do equipamento na água, responsável pela amplificação das ondas na coluna d’água.

Em D, o registro do SBP reflete a ocorrência de reflexões múltiplas dos sinais acústicos, favorecidas por ambientes de águas rasas. Tais reflexões inibem a identificação de feições correlacionáveis aos estratos sedimentares e demais refletores sísmicos.

A interpretação do registro do SBP no painel E demarca um refletor de subfundo e um paleocanal de cerca de 226 m, cuja porção central é indetectável. Essas feições posicionam-se a cerca de 6 m do fundo marinho. O refletor possui continuidade lateral a esquerda do representado na figura e possui cerca de 371 m.



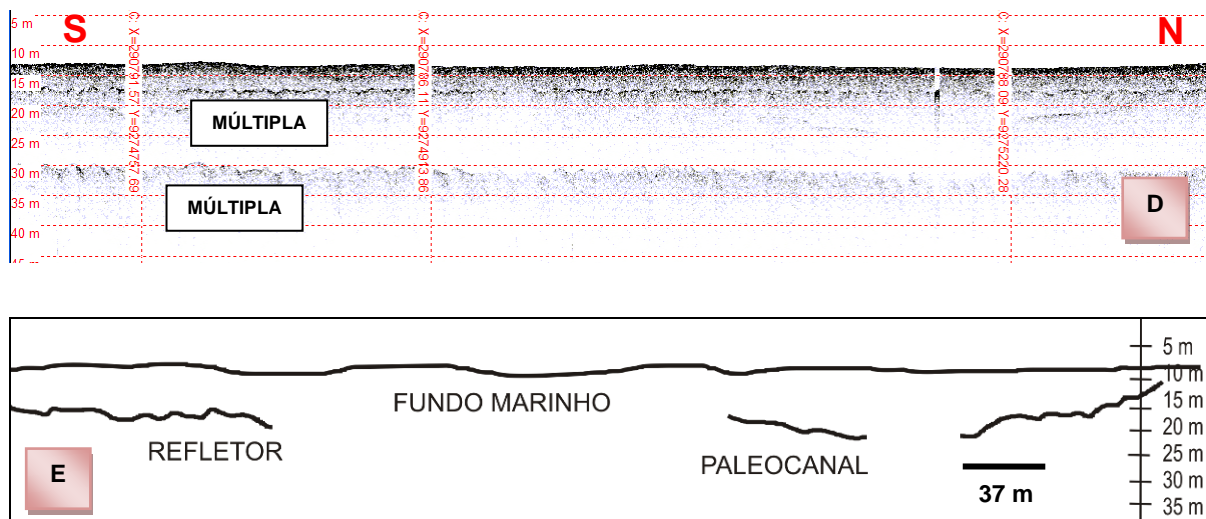


Figura 42 – Reflexões múltiplas dos sinais acústicos, a qual inibe a identificação das reflexões correlacionáveis aos estratos sedimentares. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).

OCORRÊNCIA Nº 1.3 (PALEOCANAIS)

A penetração do sinal sísmico na região de coordenadas 290186.62 mE e 927321.06 mN (Figura 43) permite a individualização de paleocanais com presença de um refletor mais superficial, indicando possível depósito de cascalho. O fundo marinho, neste trecho, está a 11 metros de profundidade, em média.

Os painéis A e B da figura 43 ilustram o posicionamento das linhas de aquisição referentes ao SSS e SBP, respectivamente. O painel C detalha o registro do SSS em uma área de alta refletância, correlacionada a areia média a grossa e terreno plano a suavemente ondulado. Em alguns trechos do registro é possível notar altos morfológicos, no caso, dunas, acompanhadas de áreas de sombra. Cada objeto sólido que emerge do fundo reflete mais energia do que a área adjacente, devido ao ângulo de incidência favorável. Por outro lado, a área atrás do objeto será atingida por uma energia menor, gerando uma sombra, representada como uma área clara no registro sonar. Salienta-se, porém, que existem áreas de declive, objetos acusticamente opacos, elevações e depressões morfológicas que também podem gerar sombras devido menor refletância.

Os painéis D e E são o registro do SBP e sua interpretação, respectivamente. Em D o filtro “*swell filter*”, anteriormente descrito também foi aplicado com o mesmo valor, por isso a aparência plana do fundo marinho. O paleocanal, de aproximadamente 228 m, está situado a cerca de 15 m abaixo do fundo e seu preenchimento é evidente.

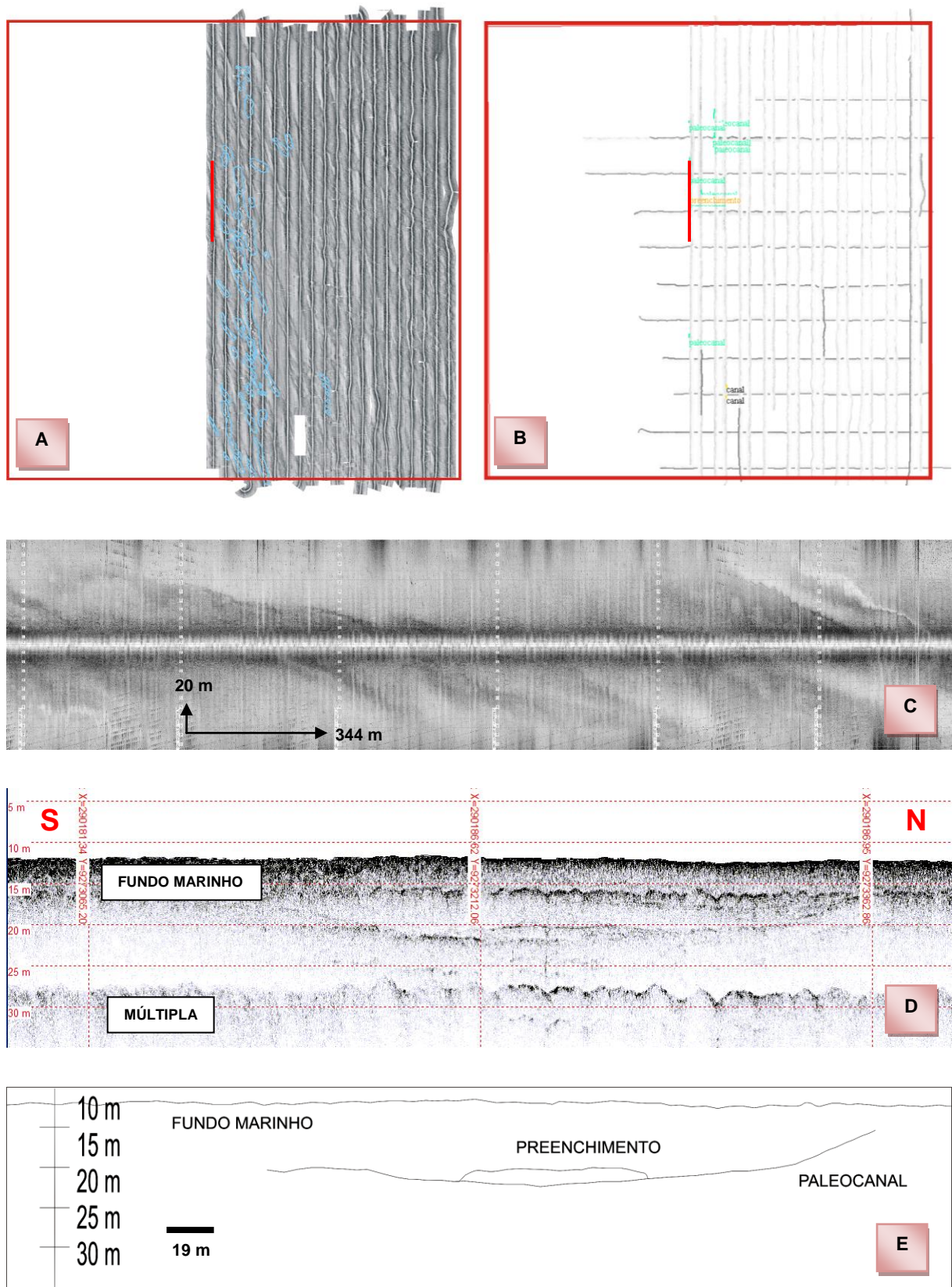


Figura 43 – Região de paleocanais com possível depósito de cascalho, na área 1 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e em E) a digitalização da interpretação de D).

3.3.2. ÁREA 2

Na área 2 as feições relevantes são as áreas de bioclóstos, os canais contidos nelas, as áreas de sedimentos grossos e finos, o fundo arenoso ondulado e os refletores sísmicos. Devido à ampla variação de feições, o fundo marinho nesta região pode ser diferenciado em porções de texturas homogêneas, como na faixa de sedimentos finos, demarcada na figura 39, e heterogêneo, como no local de acúmulo de material biodetrítico, destacada na mesma figura. As feições desta área são evidenciadas tanto nos registros de SSS quanto no de SBP.

OCORRÊNCIA Nº 2.1 (BIOCLASTOS)

As áreas recifais nesta região (figura 44) foram descritas no relatório de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a construção do Moinho de Tambaú, em Cabedelo – PB, por Maia e Sá (2003), pertencentes a uma empresa de consultoria ambiental, a *Geoconsult – Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda.*

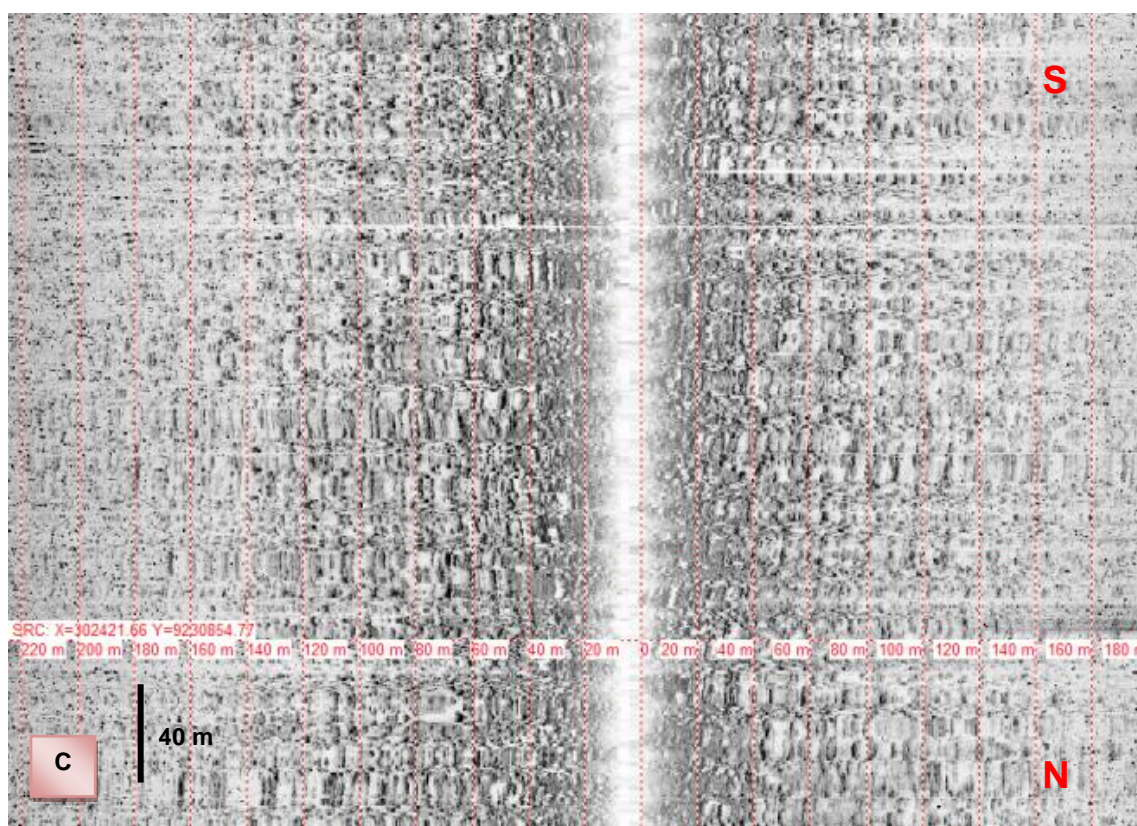
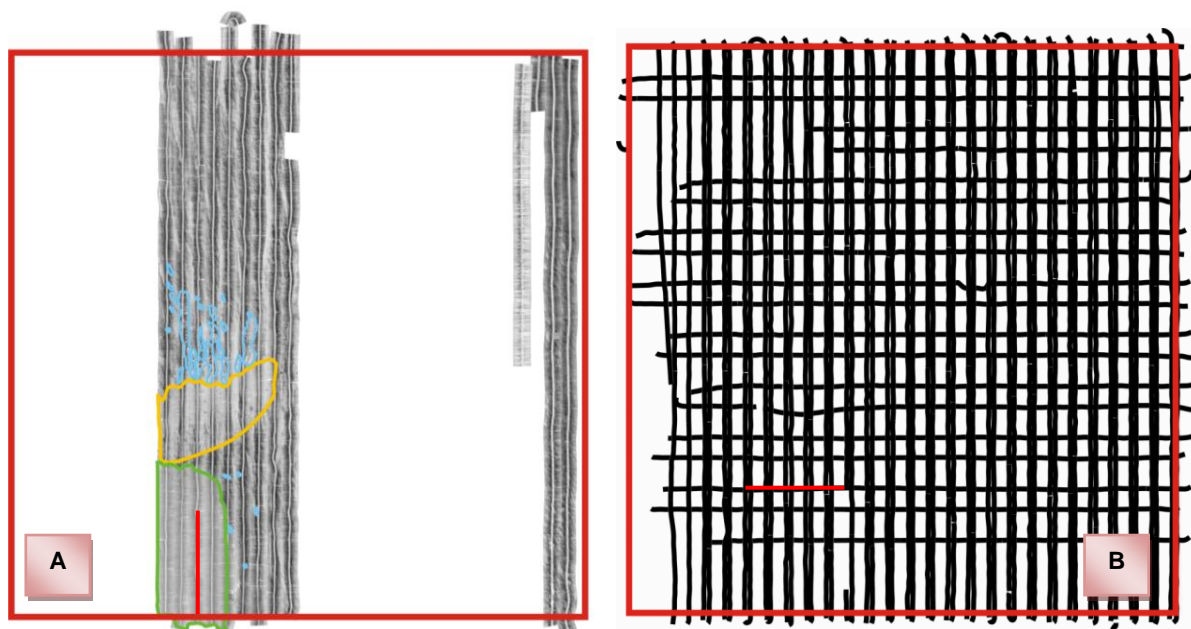
Segundo este trabalho, a área próxima a Cabedelo é condicionada pela presença de sedimentos Quaternários fluviais e marinhos, gerados pela evolução geológica dos terrenos e associadas à energia das ondas, marés e ventos, bem como à modificação do regime fluvial do rio Paraíba. Os recifes lá existentes também foram formados no Quaternário e distam até 1.000 m da linha de praia, alinhados no sentido norte-sul.

Acredita-se que a área recifal descrita por Maia e Sá (2003) é a mesma mapeada neste trabalho de mestrado. A gênese desses recifes não pode ser determinada com precisão, mas supõe-se que após influência de altas concentrações de carbonato de cálcio, o sedimento de praia foi internamente litificado naquelas regiões. Segundo os autores acima referidos, esse processo deu-se ao longo de anos e foi associado à desembocadura dos rios lá existentes.

A figura 44 ilustra, no painel A e B, a disposição da linha de aquisição com o SSS e o SBP, respectivamente. A linha insere-se na área de acúmulo de material bioclástico, delimitada por uma linha verde, em A e possui as coordenadas centrais 302421.66 mE e 9230854.77 mN. O painel C expõe um fundo heterogêneo, com corpos de alta refletância, interpretados como recifes. Em D, o perfil sísmico da mesma região mostra o material incoeso que constitui esses corpos. A área é caracterizada por gradientes batimétricos suaves a moderados, com profundidades de 9 a 10 metros.

Os registros geofísicos apresentados (painéis C e D) sugerem acúmulo de material carbonático, o qual pode ser constituído por detritos, nódulos, crostas ou recifes de algas calcárias, corroborando as informações a respeito da geologia da área. Isso porque,

segundo Silva & Mello (2005), os depósitos de algas calcárias dominam praticamente toda a sedimentação da Plataforma Continental no trecho que abrange Fortaleza, no estado do Ceará, a Ilhéus, no estado da Bahia.



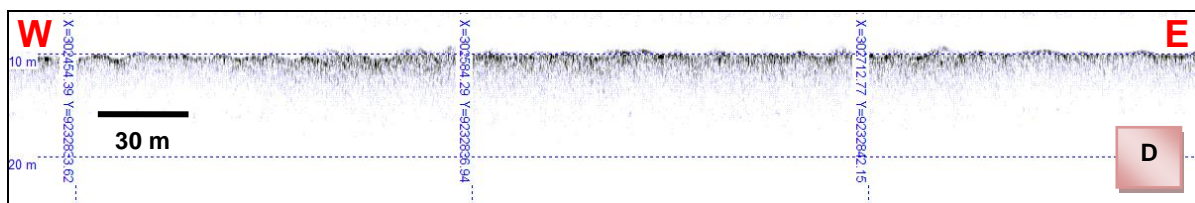
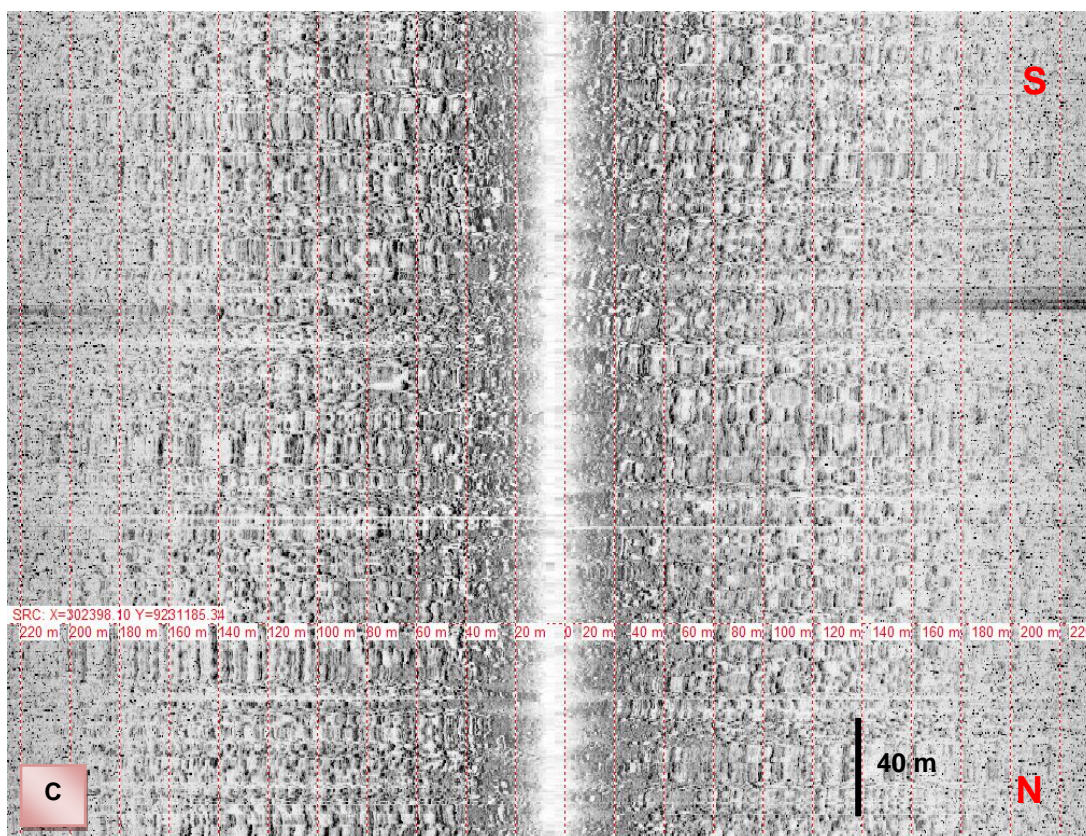
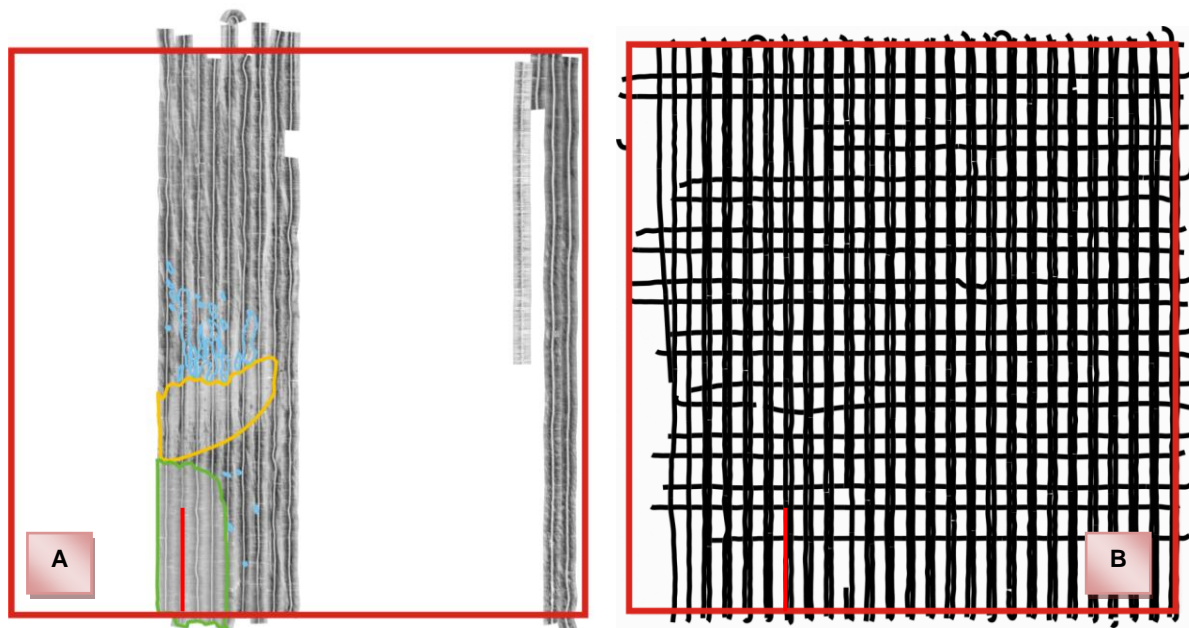


Figura 44 – Registro sonográfico e sísmico da região de bioclóstos, na área 2 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.



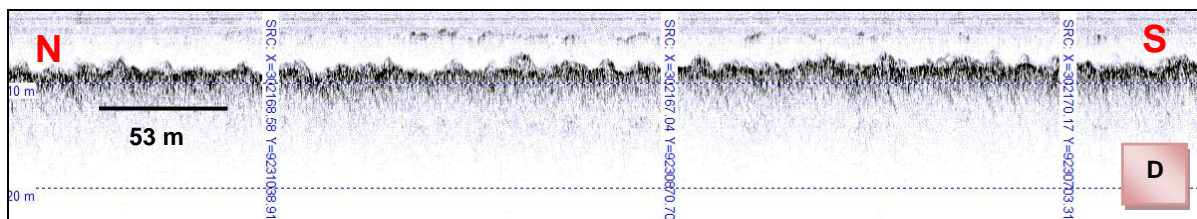


Figura 45 – Outro trecho da mesma área exposta na figura anterior. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.

A linha de aquisição que pertence à área delimitada pela linha verde, no painel A da figura 45, possui coordenadas centrais 302712.77 mE e 9232842.15 mN, adjacente à região descrita anteriormente, na figura 44. É caracterizada por gradientes batimétricos suaves a moderados, com profundidades de 7 a 10 metros. Os registros geofísicos apresentados (painéis C e D) sugerem acúmulo de material carbonático, corroborando informações de Silva & Mello (2005).

O padrão de reflexão do imageamento sonográfico (painel C) permite o reconhecimento de mudanças no padrão sedimentar superficial de fundo. A partir das variações do sinal acústico refletido pela superfície do fundo marinho foi possível identificar um padrão textural rugoso, diferente dos demais e correlacioná-lo a áreas de acúmulo de material bioclástico.

O ecocaráter registrado pelo perfilador de subfundo (painel D) permitiu classificar a superfície marinha como incoesa. A dispersão do sinal impossibilita a visualização de refletores internos e sugere a existência de sedimentos grossos (areia e cascalho) na mesma região.

Dentro do limite da área de ecossistema coralíneo pode-se ainda encontrar canais (Figura 46), conforme descreveu Lima (2002) em trabalho realizado próximo a Paraíba, em Maracajaú – Rio Grande do Norte, RN. Estes possuem, em média, 25 m de largura e 127 m de comprimento. Salienta-se, entretanto, que outra interpretação para feições como essa seriam as marcas geradas pela movimentação de âncoras de embarcações.

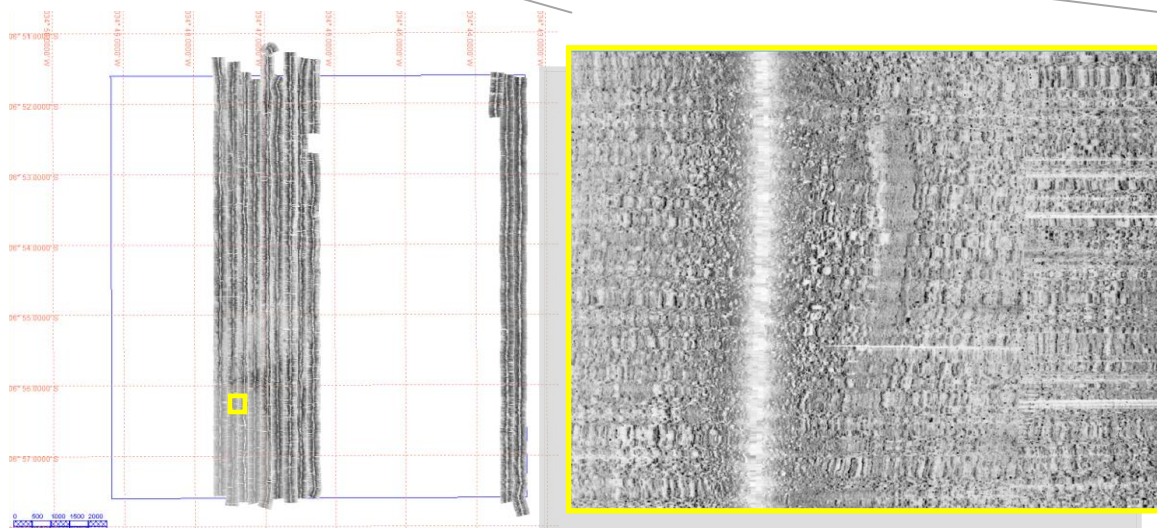


Figura 46 – Canais encontrados dentro dos limites da região de existência de biodetritos, na área 2 de pesquisa.

OCORRÊNCIA Nº 2.2 (TRANSIÇÃO)

Um dos exemplos de áreas de transição possui coordenadas centrais 302972.42 mE e 9232850.31 mN (Figura 47). Esta região caracteriza-se pela alternância de área de sedimentos de granulometria fina e grossa. As porções com ecos contínuos, textura homogênea, pouca penetração do sinal acústico, linha do fundo oceânico bem marcada e sem refletores subjacentes são típicas de plataforma continental com sedimentos consolidados. Já as porções de sedimentos inconsolidados sugerem a existência de materiais de granulometria média a grossa.

Os painéis A e B, na figura 47 demarcam o posicionamento das linhas de aquisição do SSS e SBP, respectivamente. Os painéis C e D detalham os registros desses equipamentos e ilustram de forma precisa os trechos de mudança do material constituinte do fundo.

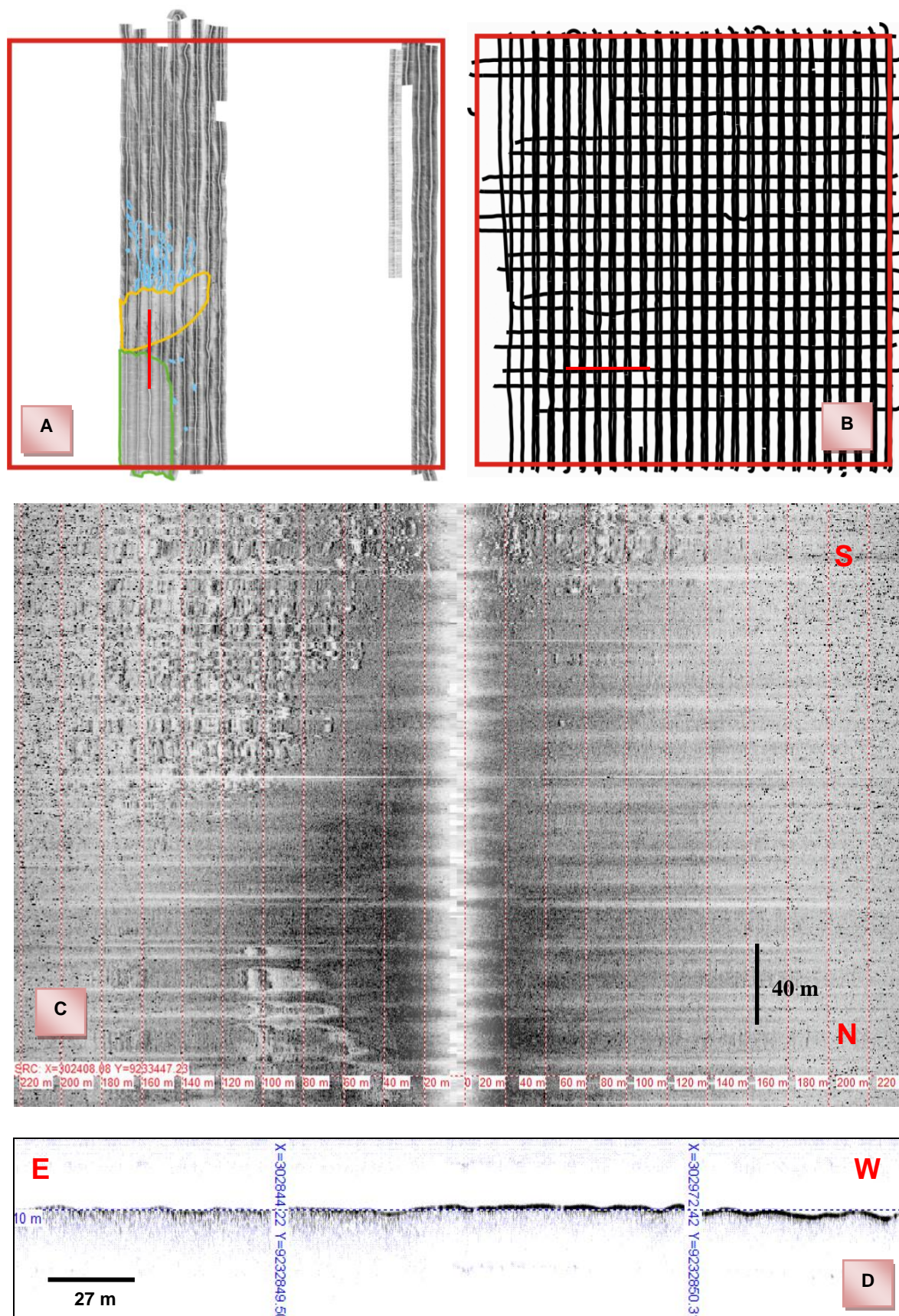


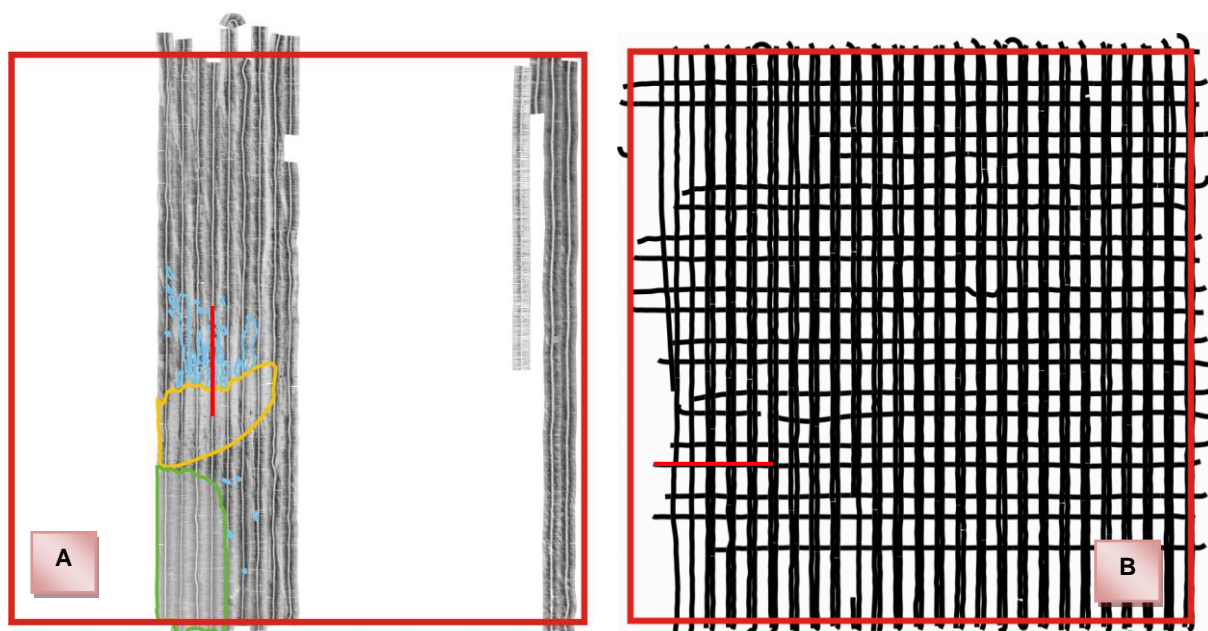
Figura 47 – Registros geofísicos da região de transição de sedimentos grossos e finos, na área 2 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.

OCORRÊNCIA Nº 2.3 (SEDIMENTOS FINOS)

Esta ocorrência é caracterizada por uma destacada faixa de alta refletância que possui coordenadas centrais 300291.42 mE e 9233340.19 mN.

Os painéis A e B, na figura 48 demarcam o posicionamento das linhas de aquisição no levantamento com o SSS e SBP, respectivamente. As linhas foram escolhidas de forma a ilustrarem o mesmo tipo de material de fundo em trechos próximos um do outro, nos dois registros.

O painel C detalha o registro do SSS e mostra que o trecho possui padrão de textura lisa e homogênea, característica de superfícies de fundo cobertas por sedimentos. Já o painel D é o detalhe do registro com o SBP. Sua interpretação, no painel E, demonstra que em alguns trechos, cujo eco é contínuo e a linha de superfície de fundo é bem definida, existem refletores subsuperficiais. Essa linha, transversal a linha da costa, possui com 3 refletores, classificados por suas distintas profundidades, denominados SUB-1, SUB-2 e SUB-3. A diferença de cota entre um e outro refletor não ultrapassa 1 ou 2 metros de profundidade. Os refletores possuem continuidade lateral e o sinal de retorno, proveniente do fundo, não se dispersa, resultando em alta refletividade e sugerindo um fundo liso e homogêneo com material coeso.



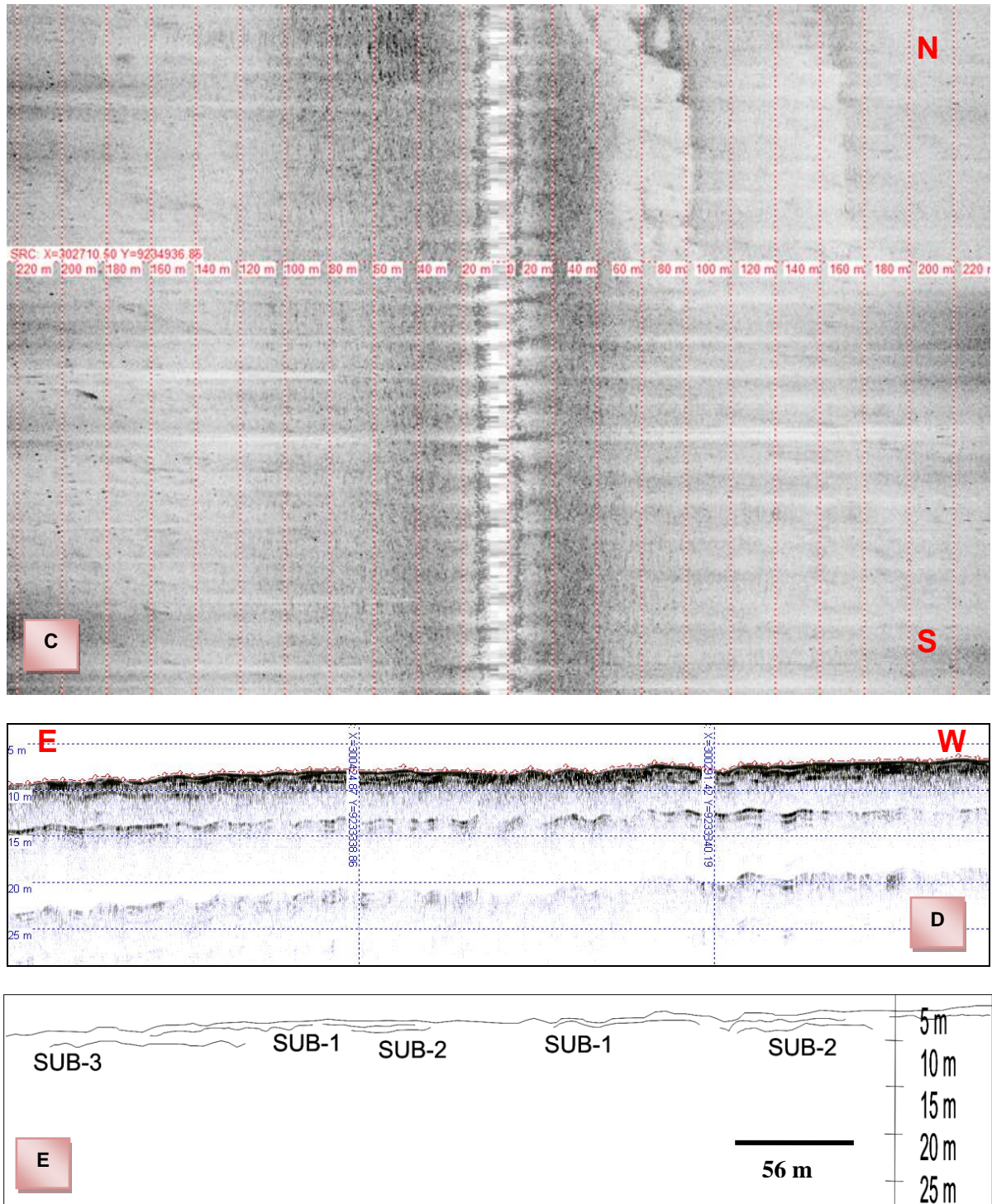


Figura 48 – Ecocaráter de sedimentos fios, na área 2 de trabalho. Esta região ilustra ainda os refletos acústicos de subsuperfície identificados. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.

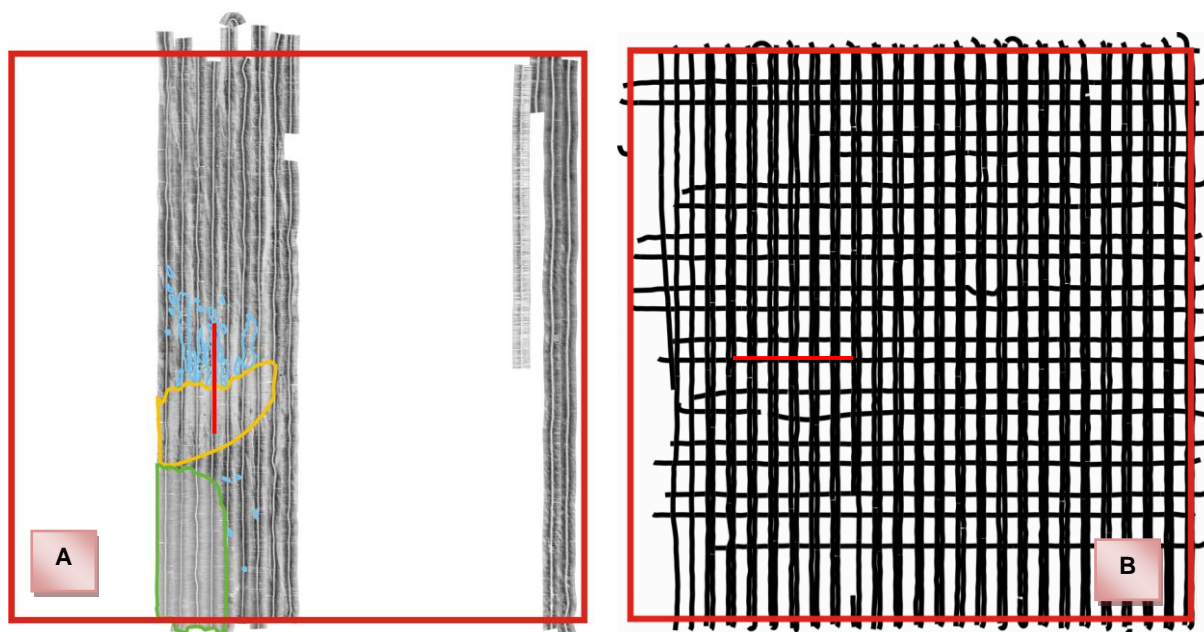
OCORRÊNCIA Nº 2.4 (ONDULAÇÕES)

A feição de fundo predominante neste trecho são ondulações do fundo arenoso, representadas por manchas claras e sinuosas, encontradas nas duas áreas de pesquisa

deste trabalho. O trecho ilustrado na figura 49 possui as coordenadas centrais 303058.19 mE e 9235334.83 mN.

Os ambientes recifais, as zonas de ondulação e os canais dentro desse limite de ecossistema coralíneo foram descritos anteriormente por Lima (2002) em sua dissertação de mestrado, na qual discorreu sobre a Geologia e Geomorfologia dos recifes de Maracajaú, no Rio Grande do Norte e plataforma rasa adjacente.

Os painéis A e B na figura 49 ilustram o posicionamento das linhas escolhidas dentre os registros de SSS e SBP, respectivamente. Em C, o detalhe do registro do SSS demonstra uma área com assoalho plano a levemente ondulado (painel D) e trechos de dunas de areia com uma diferenciada morfologia sinuosa. A alta refletância dessas deve-se ao material de granulometria média a grossa que as compõem.



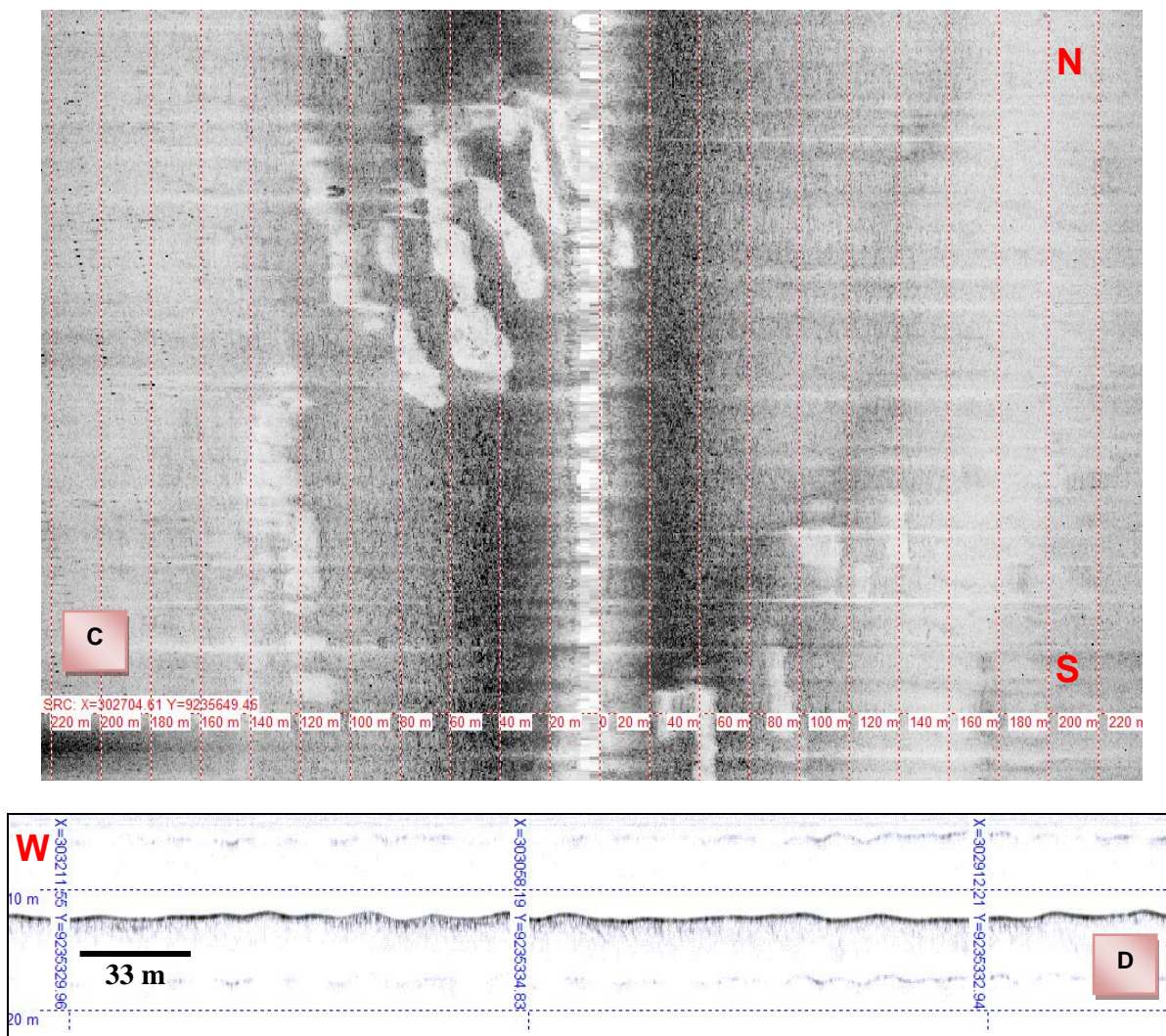
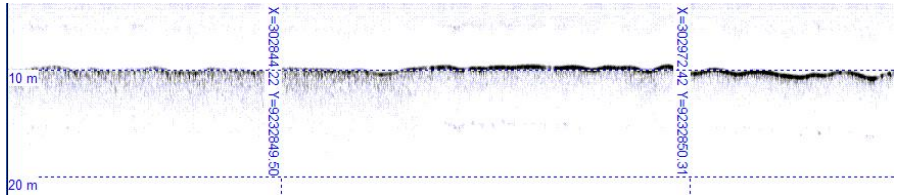
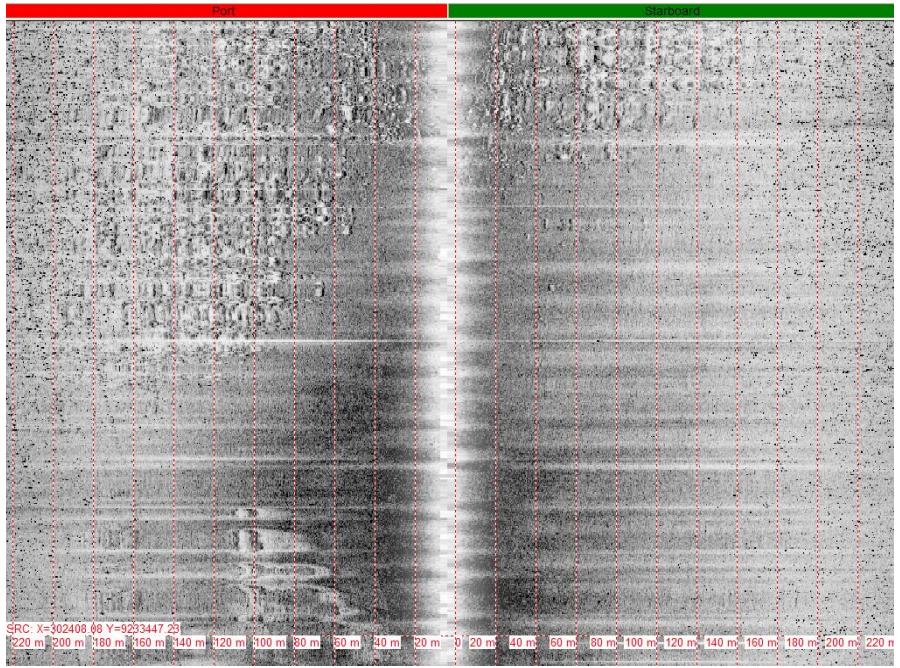
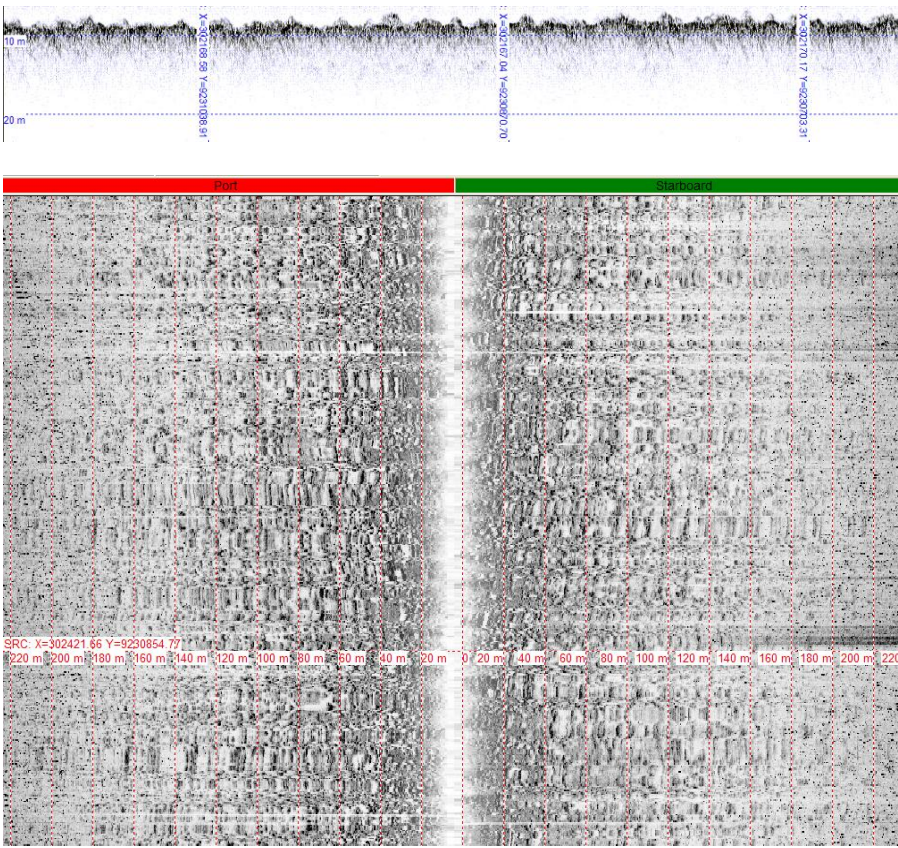


Figura 49 – Região de alternância de manchas claras e escuras e sinusosas, classificada, neste trabalho, como ondulações. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.

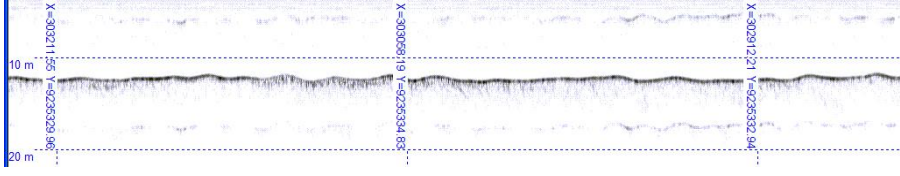
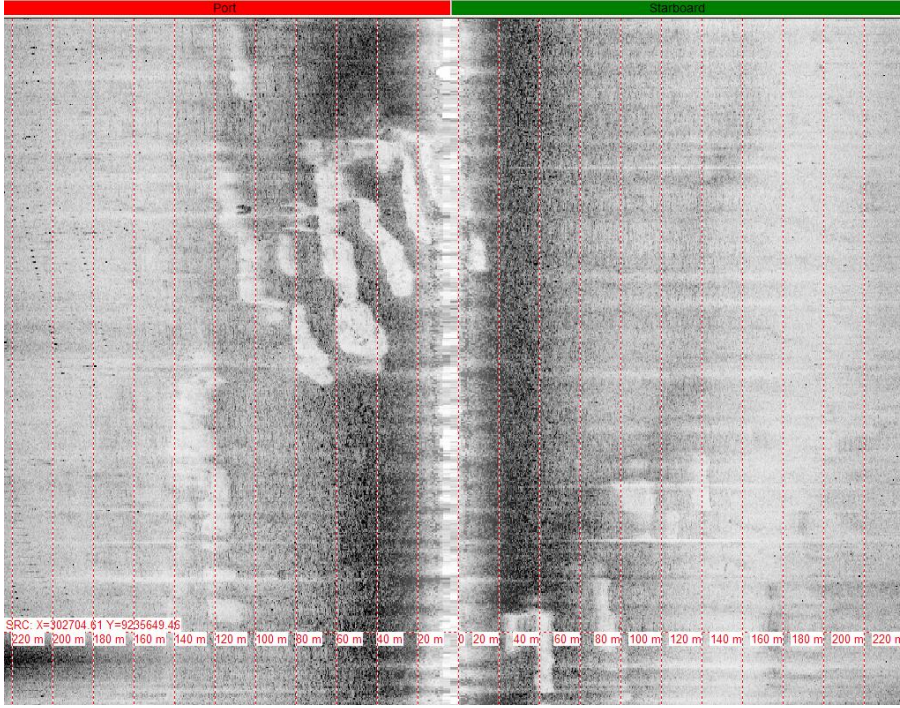
Os padrões de reflexão nos registros do perfilador acústicos de subfundo e nos do sonar de varredura lateral podem ser classificados de acordo com a intensidade de reflexão do eco, penetração deste e textura dos materiais nos registros. A tabela 4 resume as características dos registros obtidos pelos dois métodos geofísicos empregados.

Tabela 3 – Identificação dos tipos de ecocaráter superficial com base nos registros geofísicos observados com o perfilador acústico de subfundo e os padrões de reflexão do sonar de varredura lateral nas áreas 1 e 2.

Ecocaráter	Gradiente batimétrico	Ecocaráter SBP	Ecocaráter SSS	Processo deposicional	Perfil SBP	Perfil SSS
<p>Padrão A – Refletância cinza claro e cinza escuro. Exemplo em um trecho de Transição</p>	<p>8 m</p>	<p>Áreas de baixa absorção (cinza claro) e áreas de alta absorção do sinal sísmico (cinza escuro), trechos de superfície incoesa e coesa, penetração do sinal na primeira e dispersão do mesmo na última</p>	<p>Alta refletância e textura homogênea (nos trechos cinza claro) e Baixa refletância e textura homogênea (nos trechos cinza escuro)</p>	<p>Porções de sedimentos finos (escura): baixa energia, Porções de sedimentos grossos (clara): média a alta energia</p>		

Ecoarâter	Gradiente batimétrico	Ecoarâter SBP	Ecoarâter SSS	Processo deposicional	Perfil SBP	
Padrão B – Bioclâstos	7 m	Áreas de baixa absorção do sinal sísmico, superfície incoesa e dispersão do sinal	Alta refletância e textura heterogênea	Alta energia, ação de ondas e correntes de fundo		

Ecocaráter	Gradiente batimétrico	Ecocaráter SBP	Ecocaráter SSS	Processo deposicional	Perfil SBP Perfil SSS	
Padrão C – Paleocanais	12 m	Penetração do sinal sísmico	Baixa refletância e textura homogênea	Alta energia, ação de ondas e correntes de fundo		

Ecoarâter	Gradiente batimétrico	Ecoarâter SBP	Ecoarâter SSS	Processo deposicional	Perfil SBP	Perfil SSS
Padrão D – Ondulações	12 m	Alternância de material compactado e incoeso	Alternância de refletâncias	Alta energia		

3.4. SUBSÍDIO A AMOSTRAGEM GEOLÓGICA

Os dados geofísicos obtidos neste trabalho são constituem a etapa inicial para a investigação de recursos minerais em regiões de interesse. A próxima etapa abrange a amostragem geológica de material de fundo, a fim de correlacioná-las aos dados dos levantamentos geofísicos e confeccionar um mapa geológico de detalhe da região. Sendo assim, é apresentado na figura 50 o mapa dos pontos estratégicos nas áreas 1 e 2, com base em paleocanais mapeados e regiões de acúmulo de material bioclástico.

3.5. CORRELAÇÃO COM DADOS DISPONÍVEIS EM SIG, REFERENTES AO REMPLAC

Para a consistência dos dados foi realizada uma correlação incipiente entre os dados adquiridos em escala 1:10.000 no trabalho realizado na plataforma continental da Paraíba e os dados disponibilizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) referentes ao Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Brasileira (REMLAC), na escala 1:2.500.000. As informações geológicas contidas no SIG são provenientes do GEOBANK (CPRM), BDEP (ANP), BAMPETRO, DHN, DNPM, NOAA, órgãos governamentais, empresas públicas e universidades.

A síntese das informações sobre a Geologia da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) e áreas oceânicas adjacentes é apresentada a frente, junto ao traçado da delimitação das áreas deste trabalho e seus pontos de favorabilidade a deposição de material de interesse econômico (Figuras 51 e 52).

A figura 51 mostra que pouco menos da metade da área 1 é coberta por cascalho e a outra porção não possui dados. Sendo assim, a pesquisa na Paraíba fornece dados adicionais, apontando a existência de paleocanais na porção central da área. Sugere-se, portanto, que haja continuidade na investigação daquela região, para confirmar a deposição de minerais pesados nos paleocanais. Cerca de metade da área 2 é coberta por cascalho e a parte remanescente, por areia lamosa, porém, não há dados que detalhem a variação constitucional do fundo. Os bioclóstos mapeados durante o trabalho na Paraíba pertencem a cobertura areno lamosa, segundo o mapa. Os bioclóstos interpretados pelos registros geofísicos permitem inferir a existência de detritos, nódulos (rodólitos), crostas e recifes de algas calcárias, os quais compõem os depósitos de granulados biodetríticos.

A figura 52 ilustra as áreas de relevante interesse econômico quanto aos recursos minerais, mapeadas pelo REMPLAC. A disposição do traçado das áreas estudadas permite dizer que o substrato marinho dessas regiões é constituído por calcário. Os dados apresentados nessa dissertação permitem, portanto, refinar o traçado já existente e adicionar informações referentes às porções das áreas não classificadas pelo REMPLAC.

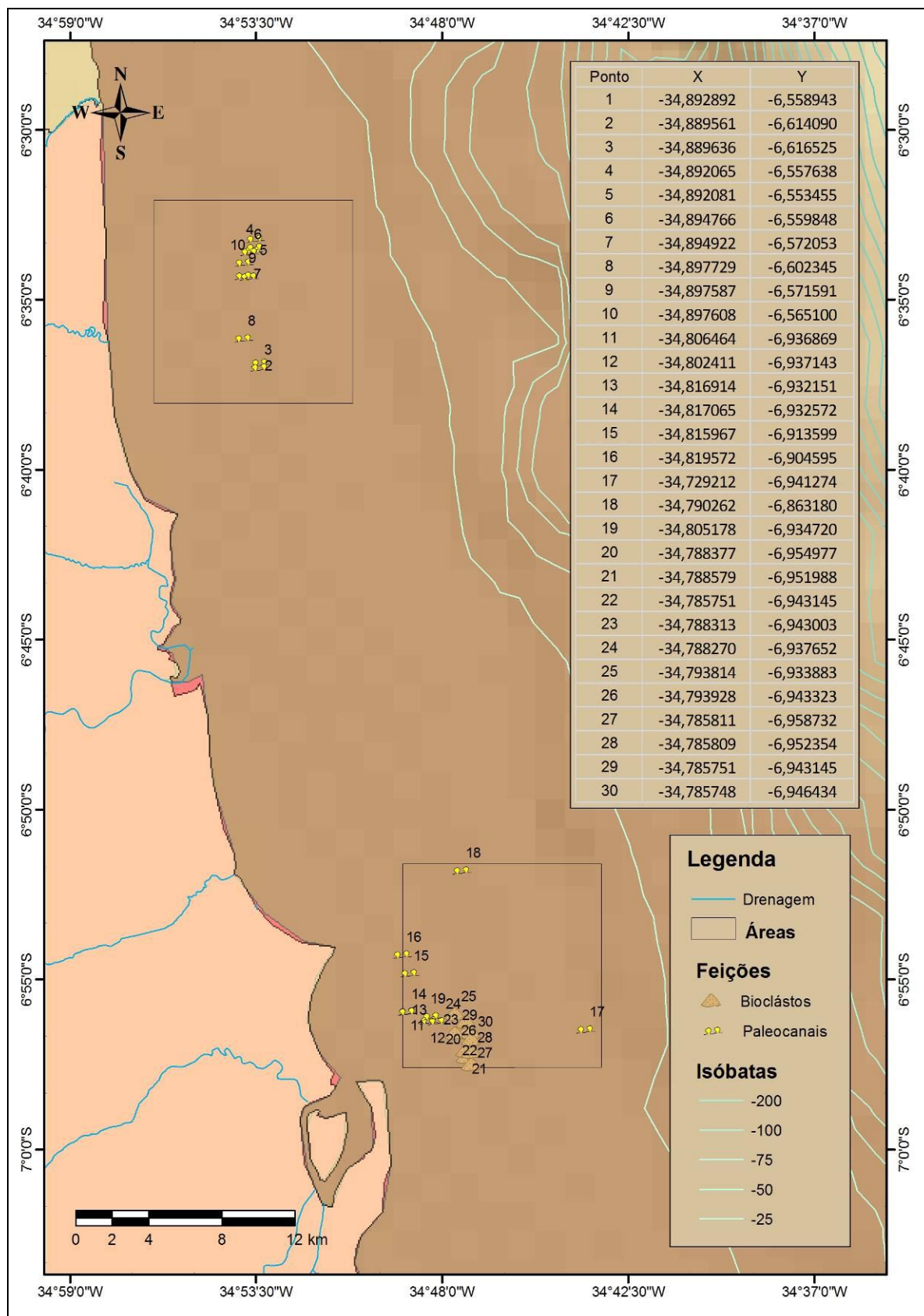


Figura 50 – Mapa de pontos estratégicos para coleta de amostras geológicas e correlação com dados geofísicos. O posicionamento dos pontos de maior interesse é ilustrado com as respectivas coordenadas em graus decimais.

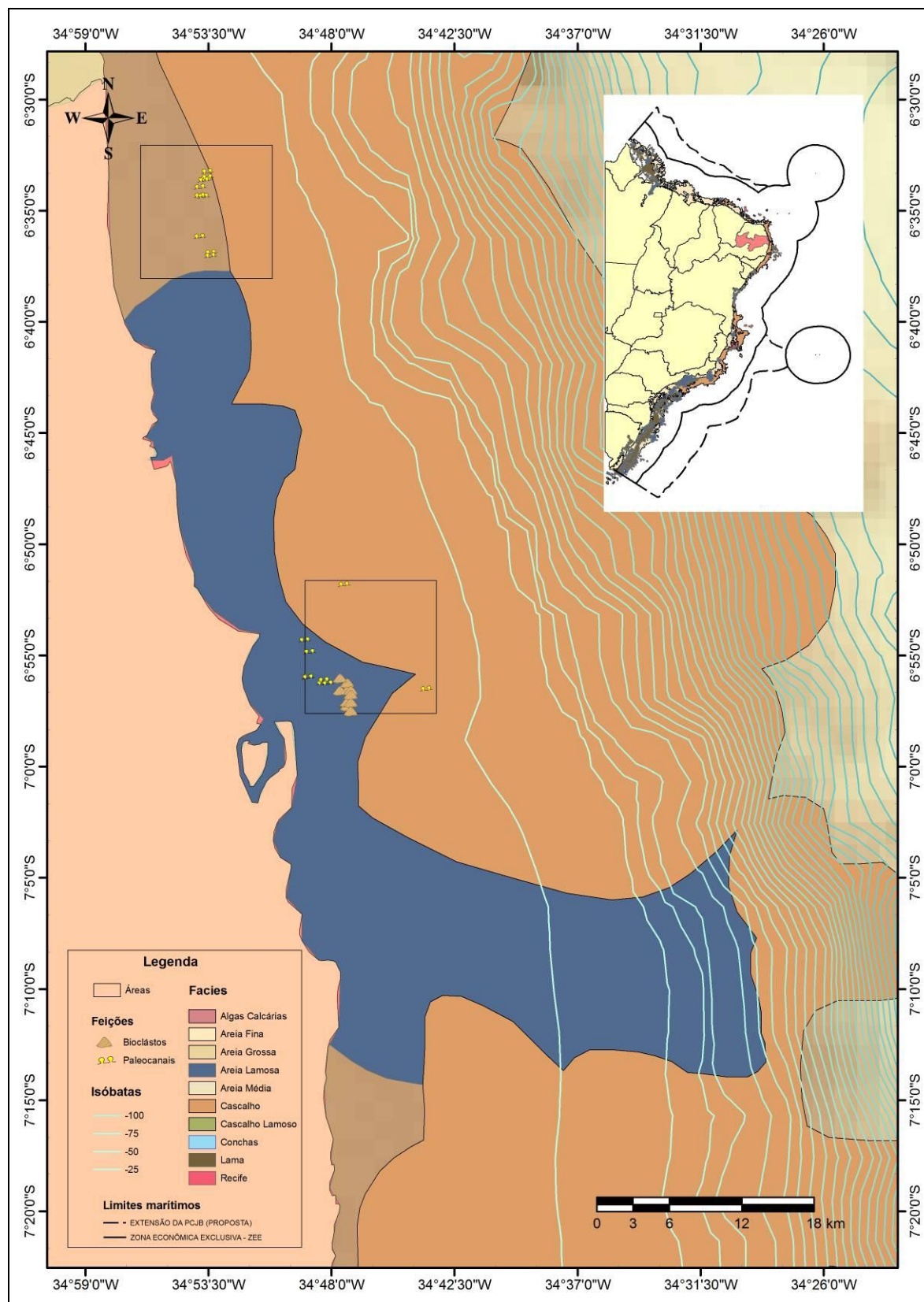


Figura 51 – Mapa de Geologia dos depósitos superficiais na margem continental da Paraíba, Brasil. Datum WGS 1984. Fonte: Base de dados em ambiente SIG referente ao mapa de Potencialidade dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes (Souza K. G., 2008).

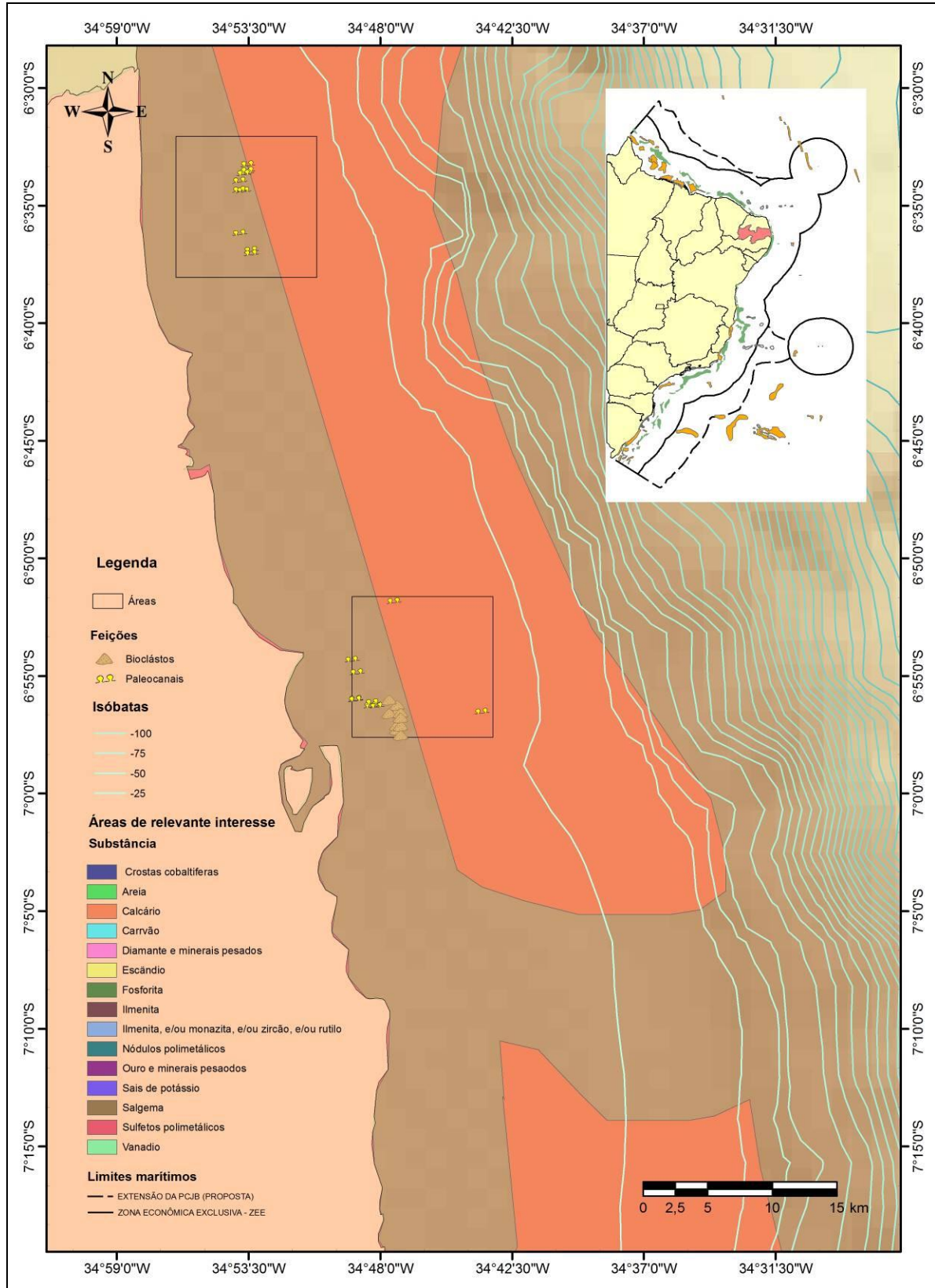


Figura 52 – Mapa de ocorrências e recursos minerais na margem continental da Paraíba, Brasil. Datum WGS 1984. Fonte: Base de dados em ambiente SIG referente ao mapa de Potencialidade dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes (Souza K. G., 2008).



4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os levantamentos geofísicos realizados com o perfilador acústico de subfundo e com o sonar de varredura lateral permitiram o reconhecimento das duas áreas de trabalho situadas na plataforma rasa da Paraíba - PB, Brasil. Os dados coletados permitiram, de forma conjunta, a identificação de paleocanais e áreas sujeitas a acúmulo de material bioclástico, essa última devido a ocorrência de recifes nessas regiões. Os trechos de maior interesse foram destacados e são destinados a detalhamento tanto para novos levantamentos geofísicos, quanto para correlação à coleta de amostras geológicas. O Programa de Reconhecimento dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Brasileira (REMPLOC) fornece a síntese das informações e resultados já alcançados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), em escala 1:2.500.000. A pesquisa realizada na Paraíba, em escala de detalhe (1:10.000), pode aprimorar os resultados já alcançados.

Os equipamentos empregados no levantamento foram adequados e satisfatórios para a finalidade proposta. O sonar de varredura lateral foi utilizado para a investigação da morfologia do fundo marinho a fim de indicar a localização de áreas propensas à deposição de granulados biotróficos e o perfilador acústico de subfundo foi aplicado ao mapeamento de estruturas subsuperficiais associadas a antigos canais fluviais (paleocanais), sujeitos à deposição de préterita de minerais pesados, tal qual a ilmenita.

Os registros de ambos os equipamentos foram integrados e correlacionados e as áreas de paleocanais, bioclásticos, dunas de areia, sedimentos de granulometria fina e grossa foram interpretadas nas duas áreas do trabalho.

As feições proeminentes observadas na área 1 foram as dunas de areias e os paleocanais rasos e profundos, bem como outros refletores sísmicos menos expressivos. Os paleocanais mapeados, um dos alvos desse trabalho, são concentrados na porção superior e central da área 1. Cerca de 30% da parte oeste da área não puderam ser mapeadas por problemas adversos, mas acredita-se que lá exista uma continuidade das mesmas feições encontradas no centro. A proximidade da área à desembocadura de rios na porção norte do estado da Paraíba leva a crer na possibilidade de paleocanais de origem fluvial, próximo à linha de praia, onde situa-se a área 1 de investigação, corroborando a interpretação dos registros geofísicos obtidos. Ainda na área 1 foram descritas dunas de material arenoso, interpretadas como corpos sinuosos de alta refletância nos registros de sonar de varredura lateral. Essas possuem direção preferencial NW e são mencionadas também na área 2. Os refletores sísmicos menos expressivos constituem raros trechos de extensa continuidade lateral.

Na área 2 as principais feições foram interpretadas de acordo com o tipo de reflexão emitida pelo sinal acústico e o aspecto textural da superfície de fundo. Dessa forma, foram individualizadas áreas sujeitas a acúmulo de material bioclástico, porções com as mesmas dunas de areia descritas na área 1, e faixas de sedimentos de alta refletância. Os registros de perfilador acústico de subfundo, nesta área, revelaram discretos refletores de subsuperfície, poucos com continuidade lateral. Na área 2 os levantamentos com o SBP e com o SSS foram feitos em campanhas diferentes, por isso não podem ser superpostos com exatidão, porém, o recobrimento de praticamente 100% da área com o SBP subsidia a porção não mapeada (pequeno trecho da porção oeste e porção centro leste) pelo SSS. Assim, da mesma forma que na área 1, aqui, acredita-se a área de bioclóstos, a faixa de refletância clara e as dunas sinuosas tenham continuidade em direção à costa.

Durante as campanhas de levantamentos de dados geofísicos foram também coletados dados de amostragem direta utilizando amostradores de fundo do tipo *Van Veen* e testemunhadores, porém suas análises ainda não foram concluídas. Ainda na mesma campanha, foram coletados dados de gradiometria magnética utilizando o equipamento *SeaQuest Marine Magnetics*, com acurácia absoluta de 0,2 nT, sensibilidade (potência mínima necessária para distinção do sinal recebido) de 0,01 nT e resolução de 0,001 nT. Esses dados poderão ser discutidos futuramente.

As feições aqui identificadas devem ser atreladas à coleta de amostras de fundo e sondagens ao longo dos perfis sísmicos destacados, a fim de correlacionar espacialmente e temporalmente os dados. Esta correlação pode ainda permitir a ligação das feições encontradas na área a algum importante evento geológico, tornando esta feição, um marcador, o que contribui em estudos de reconstituição paleoambiental.

Sendo assim, os objetivos propostos foram atingidos e espera-se que este trabalho sirva de subsídio aos estudos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM no mapeamento dos recursos minerais marinhos da plataforma continental brasileira, bem como ao domínio de conhecimento das riquezas marinhas brasileiras perante outras nações.



5. RECOMENDAÇÕES

Os dados deste trabalho podem ser considerados preliminares para novos levantamentos, a fim de cubar possíveis jazidas em áreas de interesse. A configuração e metodologia do levantamento geofísico executado podem ser aprimoradas e o subsídio desta amostragem indireta pode ser feito pela coleta de material em pontos estratégicos das áreas. Poderão ser realizadas amostragens de material para correlação os dados geofísicos, aqui apresentados, para possível confecção de um mapa de detalhe da geologia da área mapeada.

A escolha da malha amostral a ser utilizada influencia o resultado porque essa está relacionada às dimensões das ocorrências minerais. Depósitos de material biotritico têm dimensões de aproximadamente 5 km e placeres de minerais pesados apresentam dimensões mais reduzidas que essas (Ayres Neto, 2000). Sendo assim, os depósitos de granulados podem ser identificados com o uso do sonar de varredura lateral, como feito neste trabalho, porém sugere-se a diminuição da malha amostral de 300 x 300 m para 100 x 100 m, bem como varredura de 75 m para cada um dos canais e não 200 m, a fim de aperfeiçoar os resultados já alcançados.

Para o aperfeiçoamento da investigação de depósitos de placeres, sugere-se a permanência do perfilador acústico de subfundo e que a malha de 300 x 500, aplicada na área 1 do trabalho e a malha de 200 x 500 m, referente à área 2, seja reduzida. A escolha da frequência do sinal sísmico emitido pelo perfilador acústico de subfundo (2 - 7 kHz) foi a adequada para os objetivos da pesquisa, já que o alvo eram horizontes refletos superficiais e subsuperficiais.

O levantamento geofísico realizado pode agora subsidiar a determinação de pontos de amostragem (Figura 38) e a correta escolha do tipo de amostrador.

As malhas amostrais a serem realizadas nesta região devem ser densas, o que possibilita a determinação tridimensional de camadas geológicas ou estruturas de interesse por meio de softwares comerciais de interpretação sísmica (Ayres Neto, 2000).

O custo financeiro do levantamento geofísico e o tempo que pode ser ganho com ele, já que os alvos podem ser previamente identificados sem contato direto com o bem mineral, representam vantagens, comparados aos custos da amostragem e análise das amostras (Ayres Neto, 2000).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES NETO, A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, V. 18, 241-256p.
- BAPTISTA NETO, J. A. & SILVA, C. G. 2004. Morfologia dos oceanos. In: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. *Introdução à Geologia Marinha*. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência. p. 31-52.
- BARBOSA, J. A. 2007. A deposição carbonática na faixa costeira das Bacias da Paraíba e da Plataforma de Natal, NE do Brasil: Aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. Pernambuco. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil. 264p.
- BARBOSA, J. A. & LIMA FILHO, M. 2005. Os Domínios da Bacia da Paraíba. In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador. 6p.
- BARBOSA, J. A. & LIMA FILHO, M. F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 14, p. 287-306.
- BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; LIMA FILHO, M. F.; MORENO, E. S.; MORAES, M. A. de. 2007. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE, Brasil. *IG. Série B, Estudos e Pesquisas*, V. 18, 3-28p.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. 2003. A Estratigrafia da Bacia Paraíba: Uma Reconsideração. *IG. Série B, Estudos e Pesquisas*, v. 13, p. 89-108.
- BROWN, E.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. 1999. *Waves, tides and shallow-water processes*. 2 ed. England: The Open University. 227p.
- CASTRO, C. B. 1999. Recifes de Corais. Em: *Workshop "Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha"*. Porto Seguro - Bahia. 101p.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. 2010. Acessado em 19/04/2010. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/>.
- COOK, P. J. 1975. *Minerals from the oceans*. In: *Resources of the sea symposium*. Austrália: Royal Society of Tasmânia.
- COSTA, C. F.; SASSI, R.; COSTA, M. A. J.; BRITO, A. C. L. 2007. Recifes costeiros da Paraíba, Brasil: usos, impactos e necessidades de manejo no contexto da sustentabilidade. *Gaia Scientia*, v. 1, 37-45p.

- DIAS, G. T. M. 2000. Granulados Bioclásticos – Algas calcárias. Publicação especial da Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n. 3. 307-318 p.
- DIAS, M. S. & SICHEL, S. E. 2004. O interior da Terra. In: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Introdução à Geologia Marinha. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência. p. 11- 30.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P.; ZOUAIN, R. N. A. 2009. *The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul*. In: Dillenburg, S.R; Hesp, P.A. (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin/Heidelberg: Springer, v. 107, p. 53-91.
- FIGUEIREDO Jr, A. G. & BREHME, I. 2000. Amostragem geológica na pesquisa mineral. Universidade Federal Fluminense. Departamento de Geologia/Laboratório de Geologia Marinha – LAGEMAR. Revista Brasileira de Geofísica. Vol.18 nº. 3. São Paulo. p. 269 - 280.
- IANNIRUBERTO, M. 2008. Acústica Subaquática Disciplina de pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Notas de aula.
- JOHNSON, H. D. & BALDWIN, C. T. 1996. *Shallow clastic seas*. In: READING, H. G. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Londres: Blackwell Science. 232-280 p.
- KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. G. 1999. *The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport*. *Geo - Marine Letters*. v. 19, n. 1, p. 171-178.
- LEITE, C. A. (Coord.). Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira. Acessado em 21/04/2010. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/secirm/remplac.htm>.
- LIMA, W. da S. G. 2002. Geologia e geomorfologia dos recifes de Maracajaú-RN e plataforma rasa adjacente. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 94 p.
- MABESOONE, J. M. & ALHEIROS, M. M. 1993. *Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic Connection*. *Geologie en Mijnbouw*. Kluwer Academic Publishers. 71:351-362p.
- MAIA, L. P. & SÁ, T. D. 2003. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da obra de construção do projeto Grande Moinho Tambaú. Consultoria ambiental para a obra de construção do projeto

Grande Moinho Tambaú, em área de 3,79 ha, situado na zona especial do porto de Cabedelo. Cabedelo/PB; Brasil. Vol. 02. 94p.

- MARTINS, L. R. 2007. Aspectos científicos dos recursos minerais marinhos. In: Estudo do Mar: importância econômica, política e estratégica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Revista Parcerias Estratégicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Número 24. Brasília, Brasil. 115-136p.
- MARTINS, L. R. & SOUZA, K. G. 2007. Tecnologia de pesquisa e lavra de recursos minerais marinhos. In: Estudo do Mar: importância econômica, política e estratégica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Revista Parcerias Estratégicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Número 24. Brasília, Brasil. 231 - 246p.
- MARTINS, L. R. & COUTINHO, P. N. 1981. *The brazilian continental margin. Earth-Science Reviews*. v. 17, n. 1, p. 87-107.
- MOHRIAK, W. U. 2003. Bacias sedimentares da margem continental brasileira. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Brasília. p. 87-151.
- NICHOLS, G. 1999. *Sedimentology & stratigraphy*. London: Blackwell Publishing. 355p.
- NITTROUER, C. A. & WRIGHT, L. D. 1994. *Transport of particles across continental shelves. Reviews of Geophysics*. v. 32, n. 1, p. 85-113.
- OZCOASTS. *Australian Online Coastal Information*. Disponível em <http://www.ozcoasts.org.au/glossary/def_s-t.jsp>. Acesso em 2008.
- PEREIRA, C. V. & SOUZA, K. G. 2007. Minerais do Fundo do Mar. Avanços e Retrocessos das Negociações Internacionais da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. In: Estudos do Mar: importância econômica, política e estratégica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Revista Parcerias Estratégicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Número 24. Brasília, Brasil. 11-40p.
- PONZI, V. R. A. 2004. Sedimentação marinha. In: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Introdução à Geologia Marinha. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência. p. 219-241.
- REINECK, H. E. & SINGH, I. B. 1980. *Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics*. 2 ed. New York: Springer-Verlag. 549p.
- SEIBOLD, E. & BERGUER, W. H. 1982. *The sea floor. An Introduction to Marine Geology*. Springer-Verlag. 288 p.

- SILVA, C. G. 2000. Placeres marinhos. Publicação especial da Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n. 3, p. 327-336.
- SILVA, C. G.; FIGUEIREDO Jr, A. G. e BREHME, I. 2000. Granulados litoclásticos. Publicação especial da Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n. 3. 319-326 p.
- SILVA, C. G. & MELLO, S. L. de. 2005. O mar no espaço geográfico brasileiro. Brasília, Ministério da Educação. Vol. 08. 304p.
- SIMÕES, I. C. V. P. 2007. Aplicação da batimetria multifeixe para definição da morfologia detalhada do fundo marinho ao longo da laguna de Araruama e Arraial do Cabo. Dissertação de Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Brasil. 122 p.
- SIMON, T. E.; HORA, M. S. C.; JOYEUX, J. C. 2007. Exploração de "Rochas Vivas" (algas calcárias – *Corallinales Rhodophyta*) para fins de aquarofilia no litoral do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil. Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. Vitória, ES. 3p.
- SOUZA, E. M. 2006. Estratigrafia da Seqüência Clástica Inferior (Andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba e suas implicações paleogeográficas. Tese de doutorado em Geociências, Universidade de Pernambuco, UFPE, Brasil. 357p.
- SOUZA, K. G. 2008. Mapa da Potencialidade dos recursos minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Brasília. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Mapa na escala 1:2.500.000 (1,80 x 2,30 m).
- SOUZA, K. G.; PEREIRA, C. V.; ROCHA NETO, M. B. da. 2007. Arcabouço legal internacional e o espaço marinho brasileiro. In: Estudos do Mar: importância econômica, política e estratégica dos recursos minerais da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Revista Parcerias Estratégicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Número 24. Brasília, Brasil. 41-60p.
- SOUZA, L. A. P. de. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 311p.
- SOUZA, L. A. P. de. 2008. A investigação sísmica de áreas submersas rasas: Parte 1 – Fundamentos e demandas. In: Boletim da Sociedade Brasileira de Geofísica. Geofísica e Geologia Marinha. Rio de Janeiro, RJ. Número 2. 11-19p.
- SUGUIO, K. 2003. Geologia sedimentar. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1ª ed, 400p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. de. 1985. Flutuações do nível do mar durante o

Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*. v 15(4): 273-286.

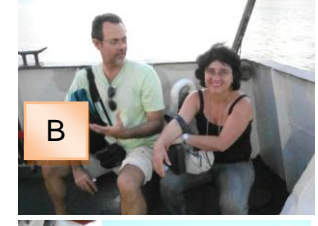
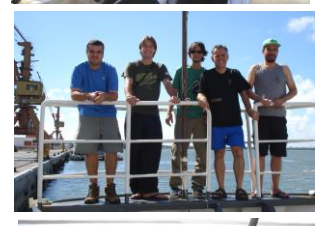
SWIFT, D. J. P. & THORNE, J. A. 1991. *Sedimentation on continental margins: a general model for shelf sedimentation. Special publications of International Association Sedimentologists*. v. 14, p. 3-31.

TESSLER, M. G. & MAHIQUES, M. M. 2001. Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 261-284.

WALKER, R. G. 1992. *Facies, facies models and modern stratigraphic concepts*. In: WALKER, R. G. & JAMES, N. P. (Eds). *Facies Models and Response to Sea-level Change. Geological Association of Canada. Geotext 1*. p. 1-14.

WRIGHT, L. D. 1995. *Morphodynamics of Inner Continental Shelves*. Flórida: CRC Press. 241p.

ANEXOS



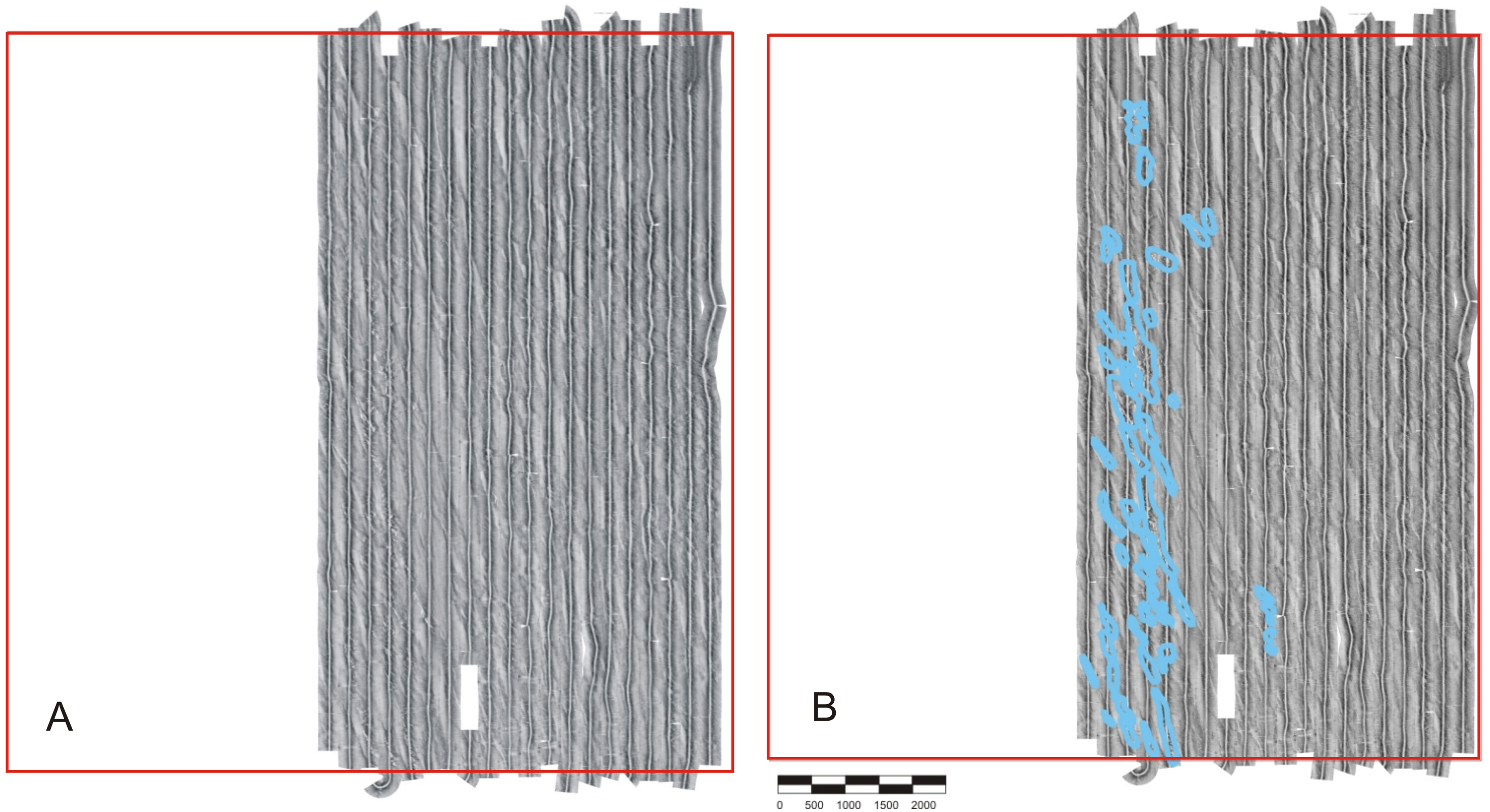


Figura Anexo 1 - Em A) Ampliação correspondente a figura 38. Refere-se ao mosaico gerado pelo conjunto de registros do sonar de varredura lateral na Área 1 do estudo realizado na Paraíba e em B) Digitalização da interpretação dos registros originais, destacando em azul as manchas sinuosas, claras e escuras. Escala dada em metros.

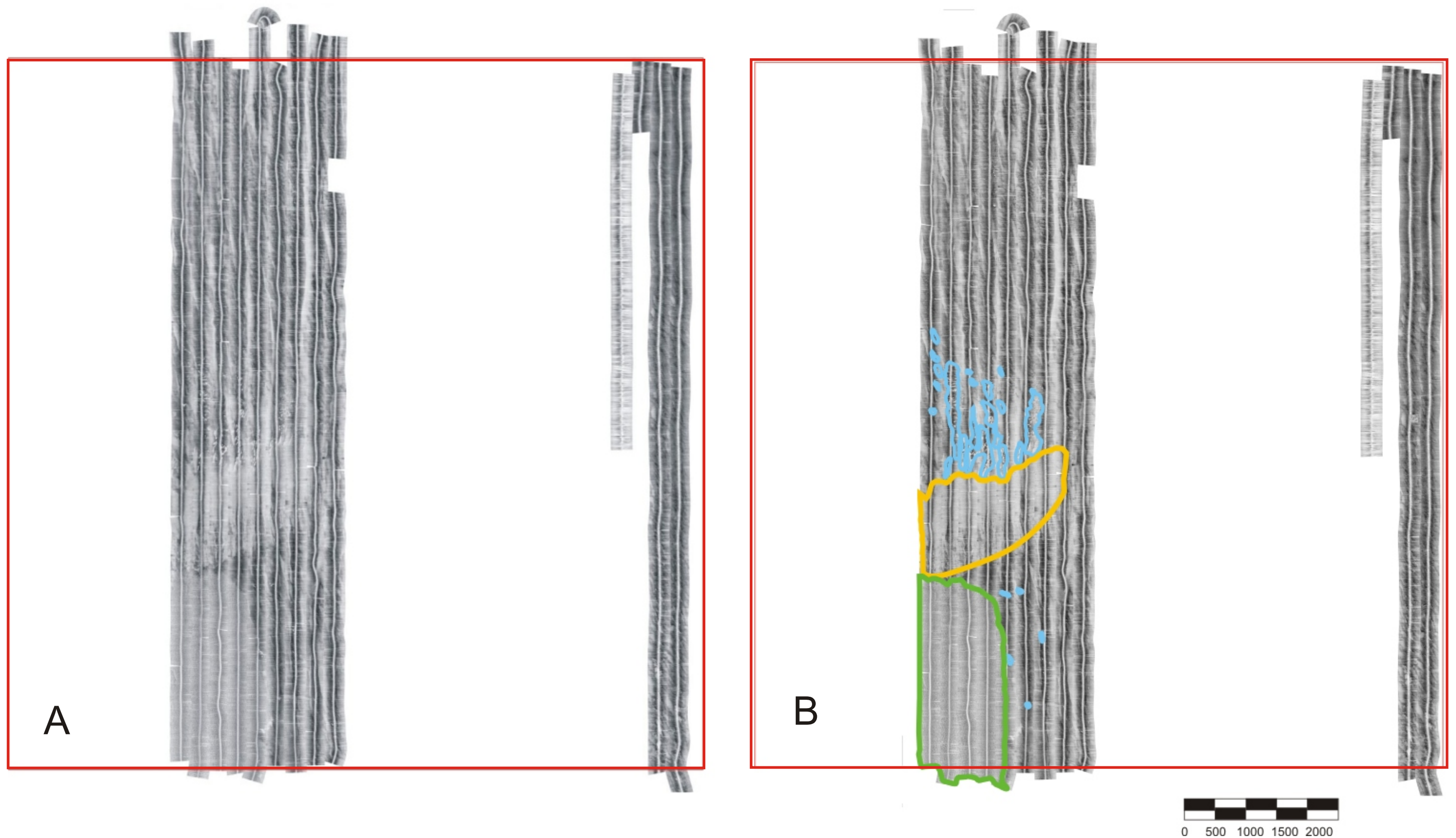


Figura Anexo 2 - Em A) Ampliação correspondente a figura 39. Refere-se ao mosaico gerado pelo conjunto de registros do sonar de varredura lateral na Área 2 do estudo realizado na Paraíba e em B) Digitalização da interpretação dos registros originais. As porções em azul referem-se às áreas onde ocorrem feições claras e sinuosas. A região delimitada pela cor amarela corresponde a área onde inferiu-se a existência de sedimentos finos e a porção verde relaciona-se a região de recifes. Escala dada em metros.

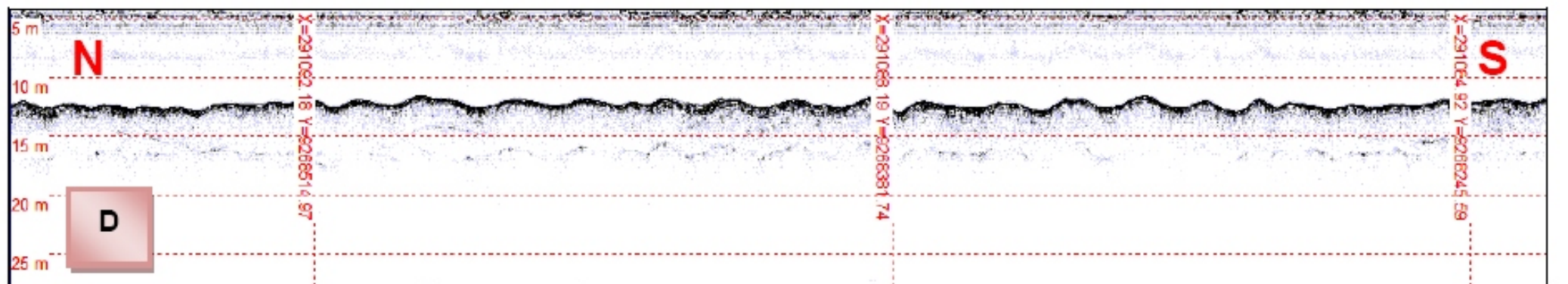
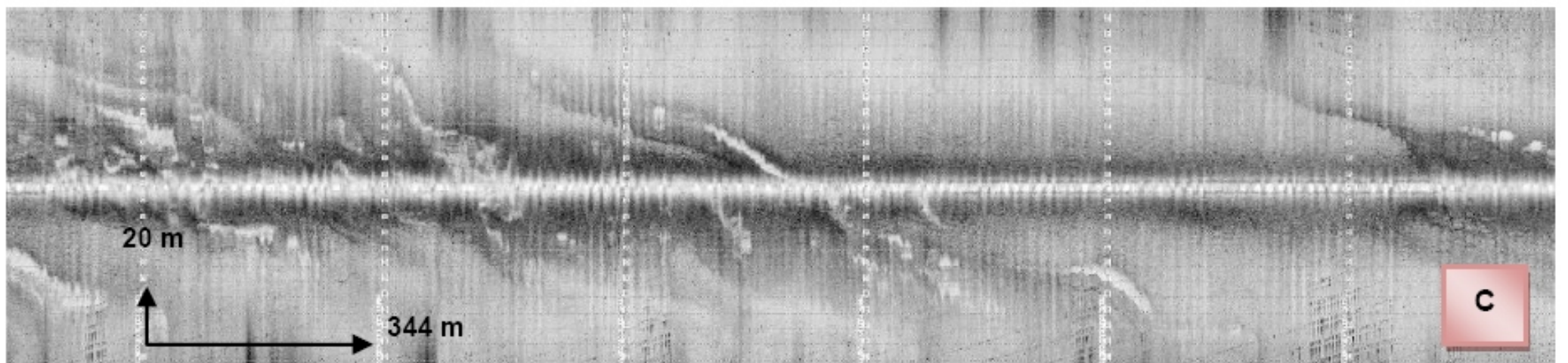
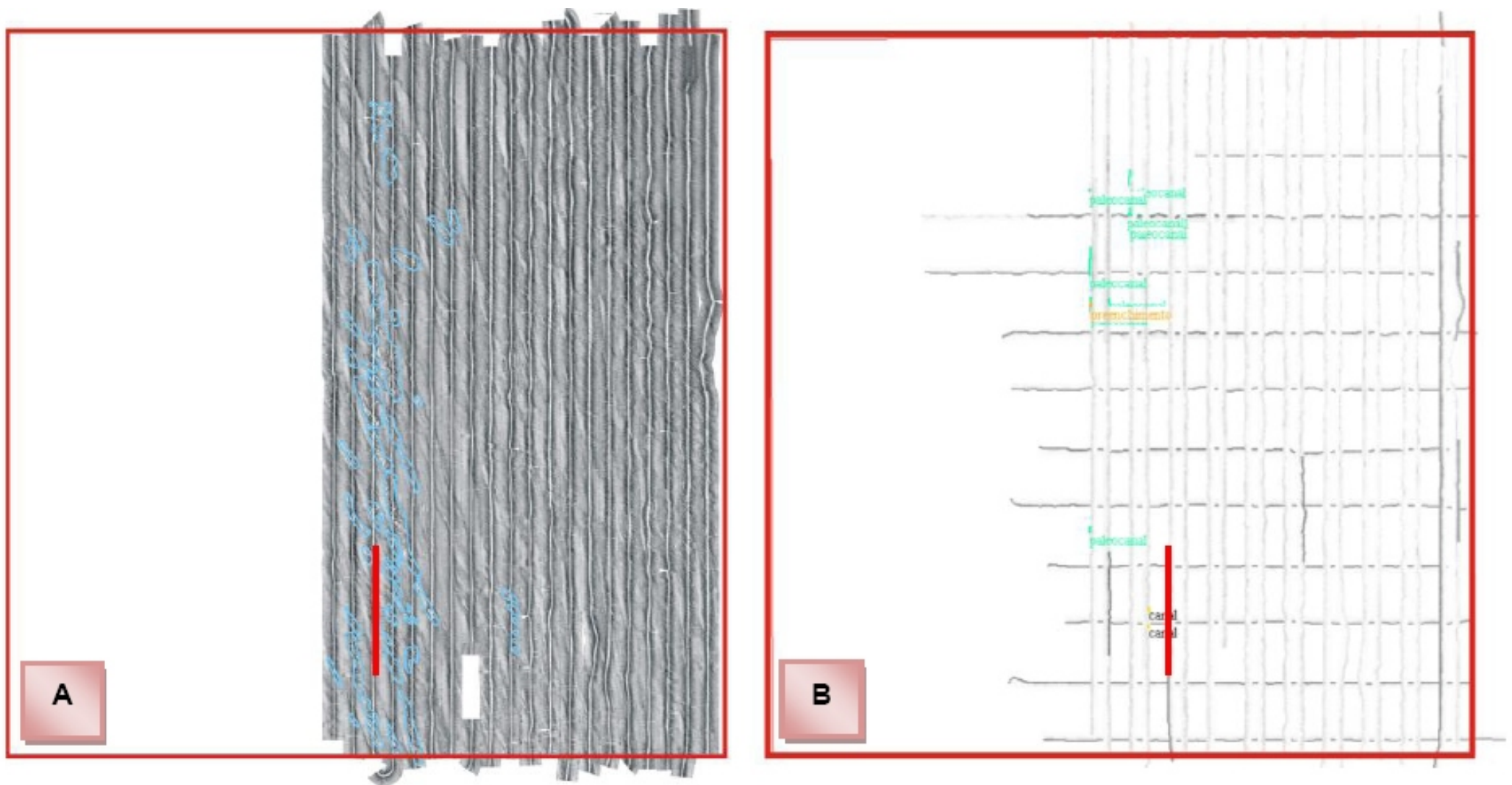


Figura Anexo 3 - Figura esquemática da região de canal submerso, na área 1 de trabalho, correspondendo a figura 40 deste trabalho. A) e B) correspondem ao posicionamento das linhas nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. C) e D) são os trechos de linha em destaque e E) a digitalização da interpretação.

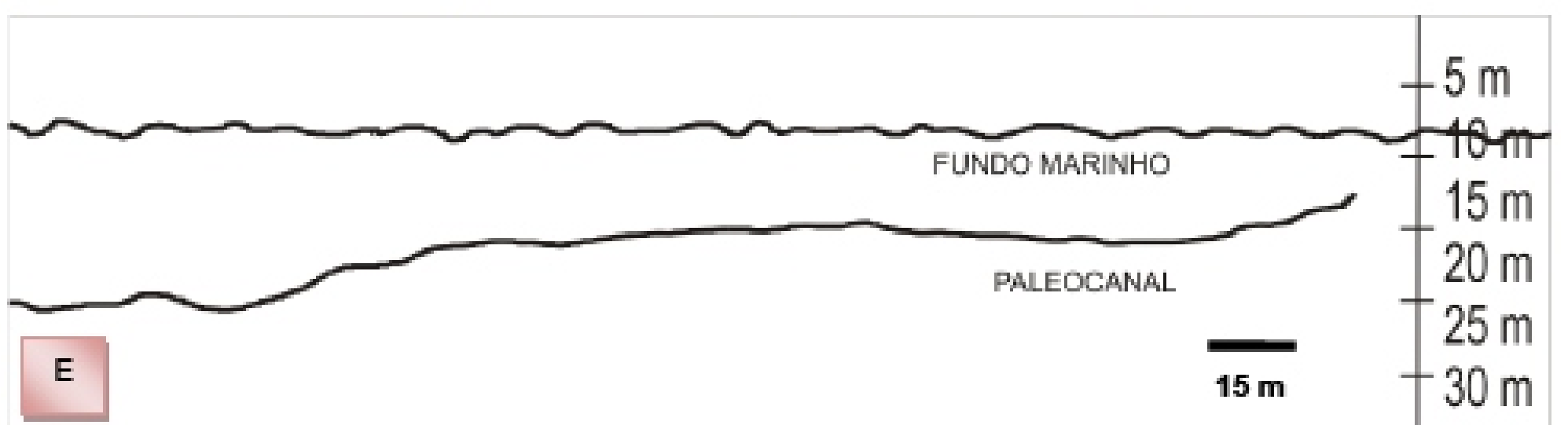
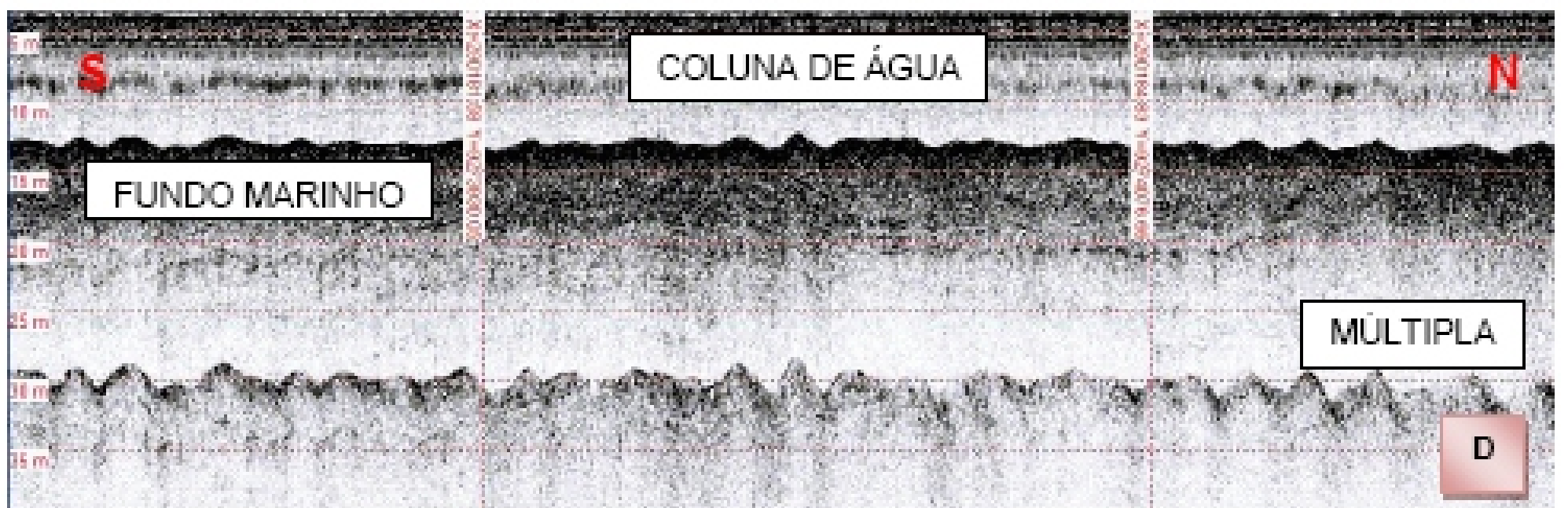
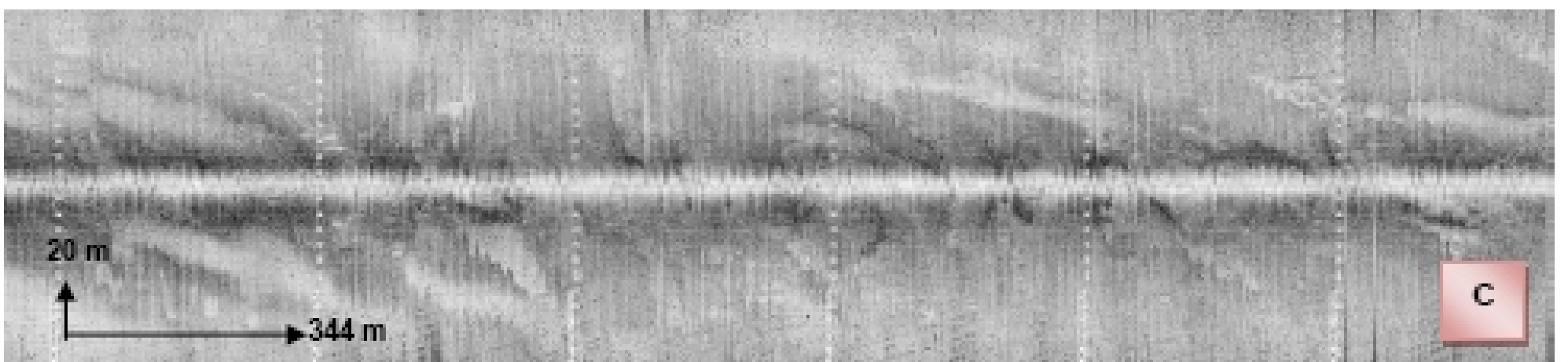
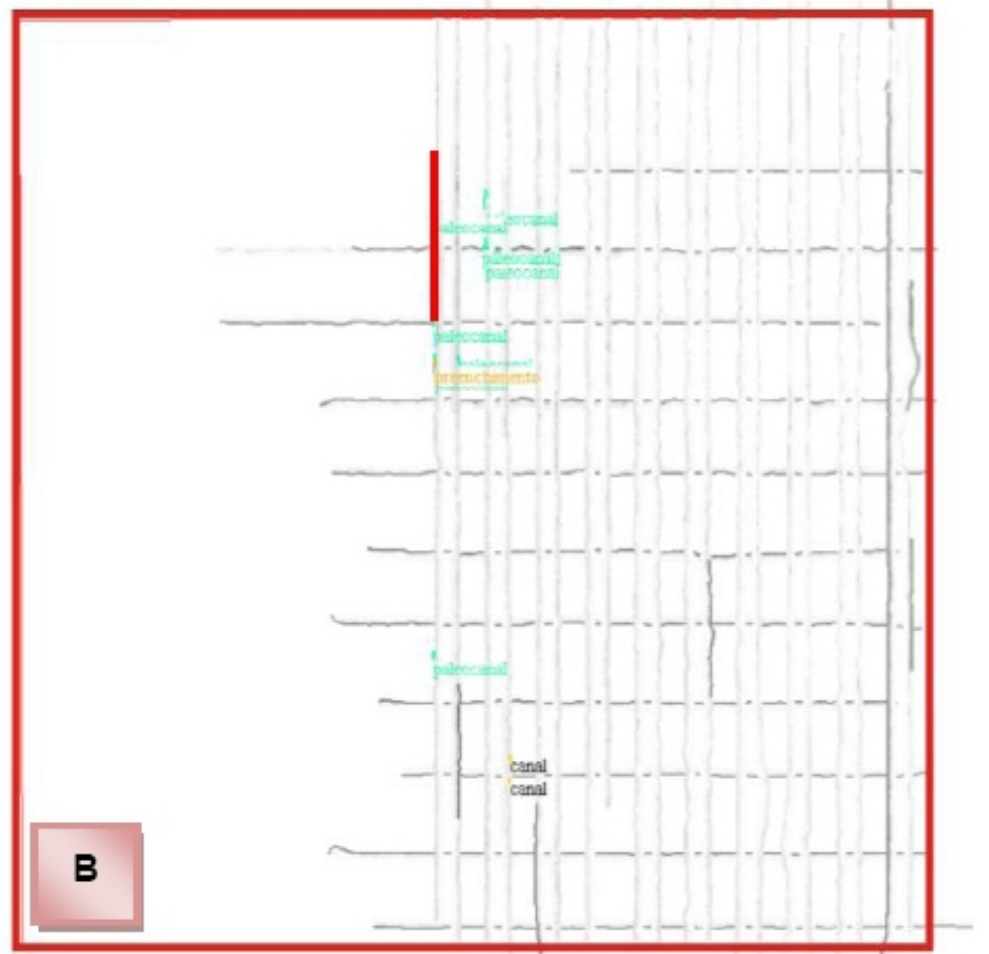
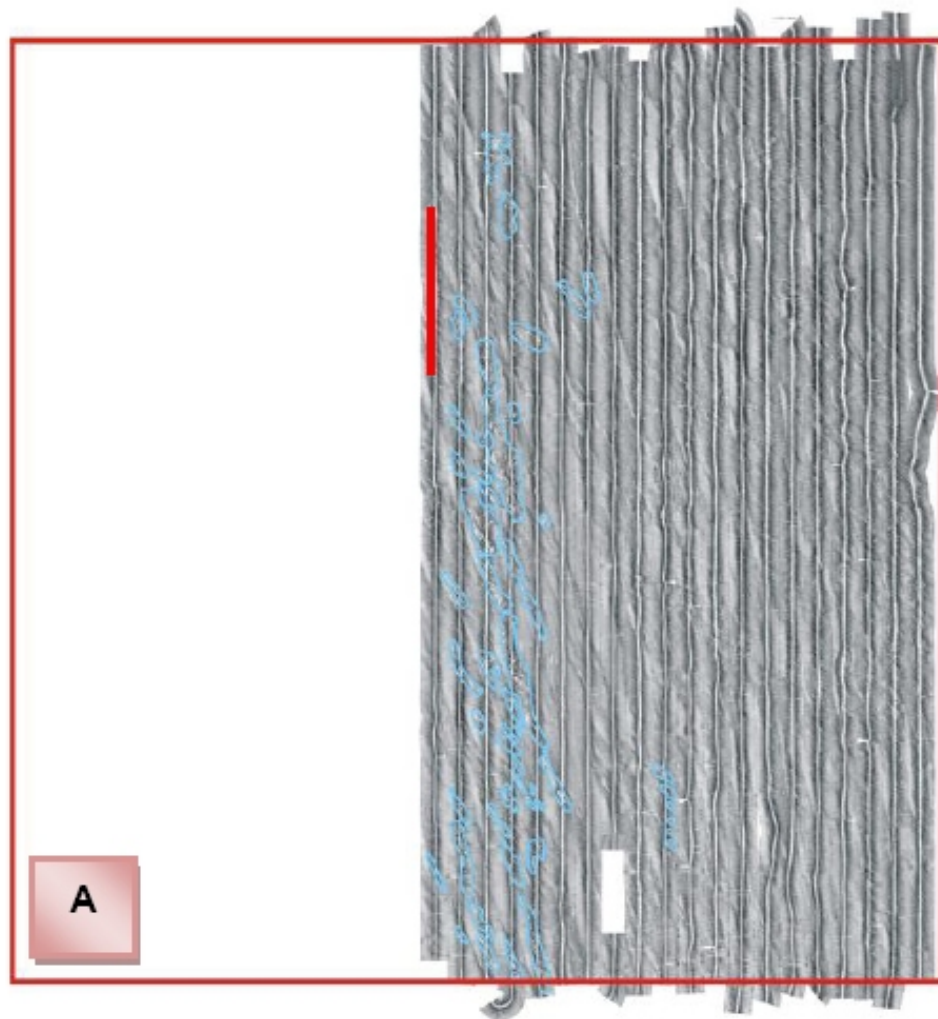


Figura Anexo 4 - Figura esquemática da região de paleocanal, na área 1 de trabalho, correspondendo a figura 41 deste trabalho. Em A) e B) o posicionamento das linhas no registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque e E) a digitalização da interpretação.

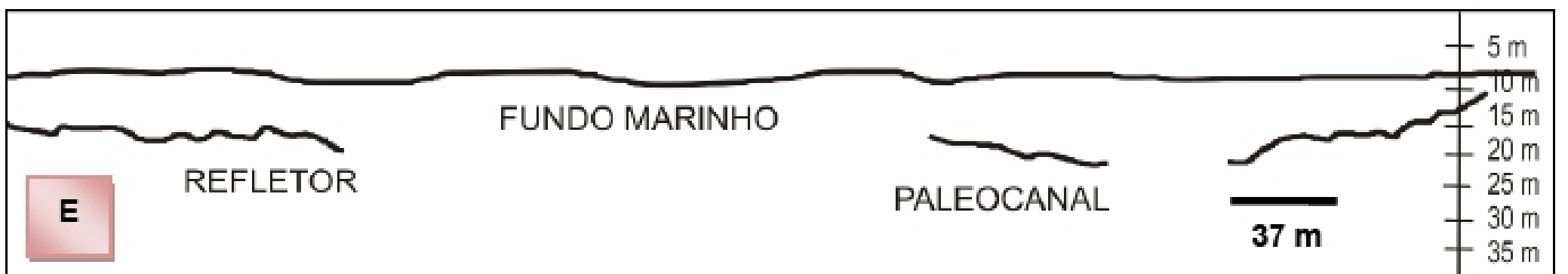
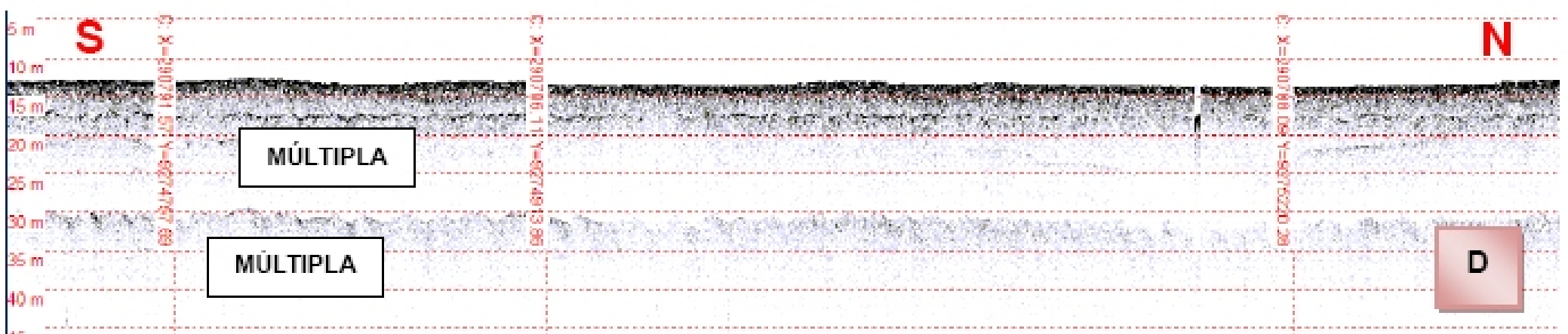
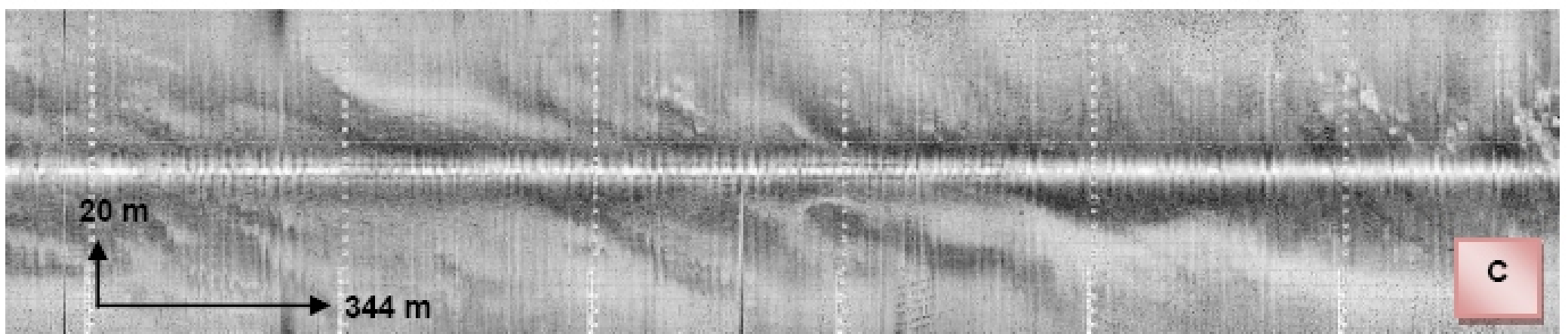
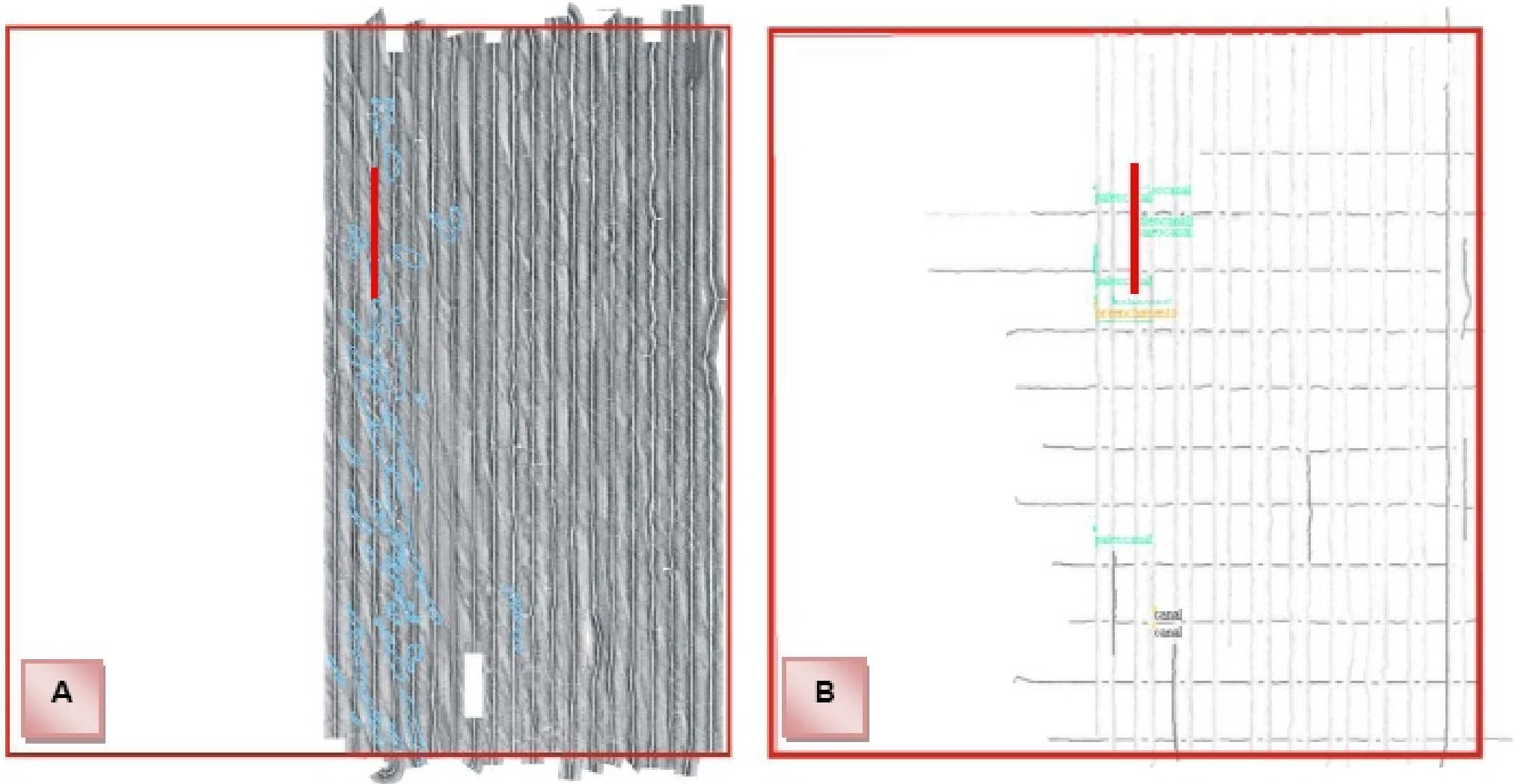


Figura Anexo 5 - Reflexões múltiplas dos sinais acústicos, as quais inibem a identificação de reflexões correlacionáveis aos estratos sedimentares, correspondente a figura 42 do trabalho.

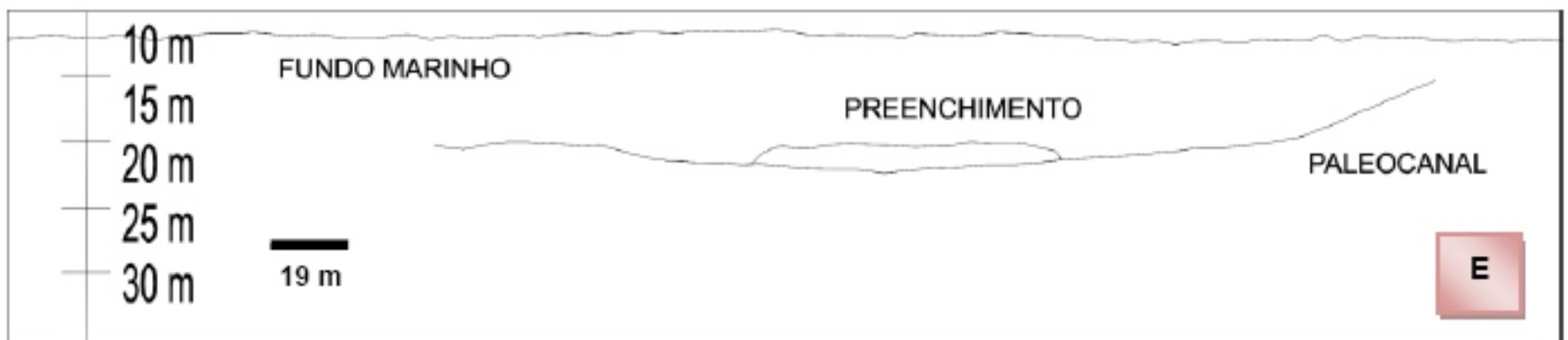
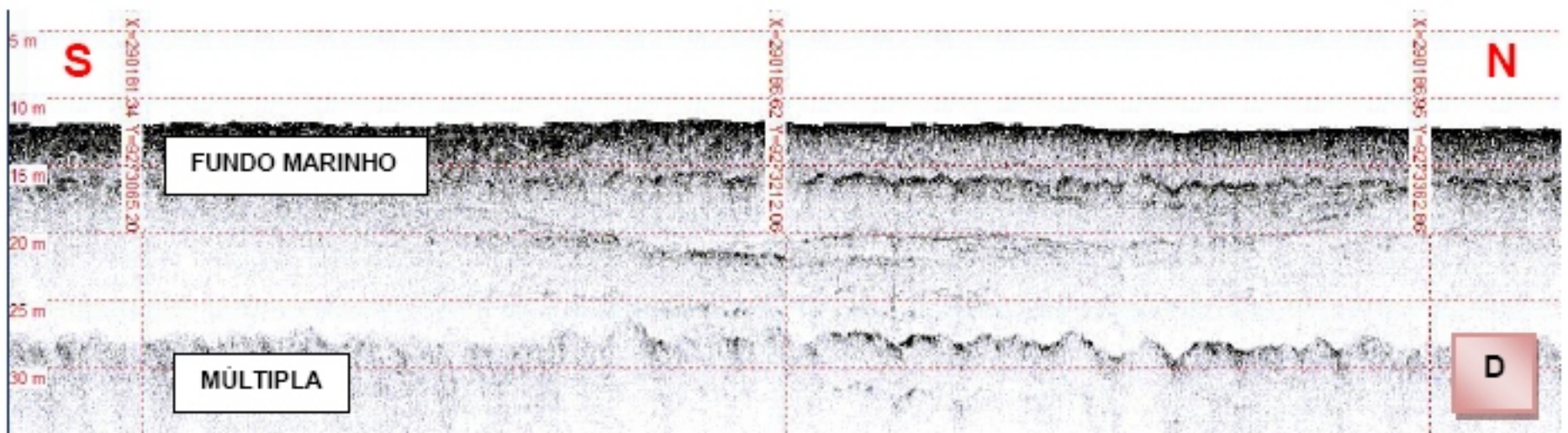
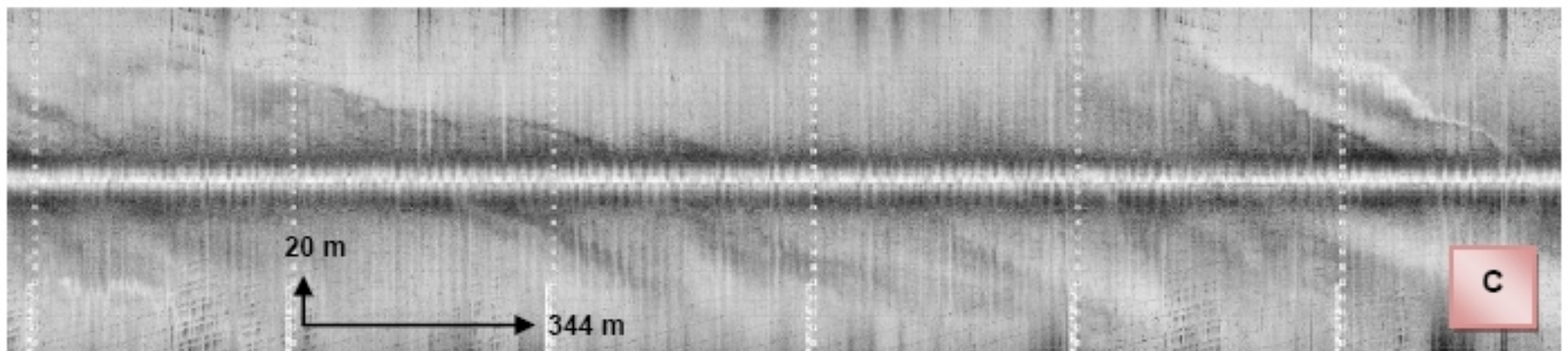
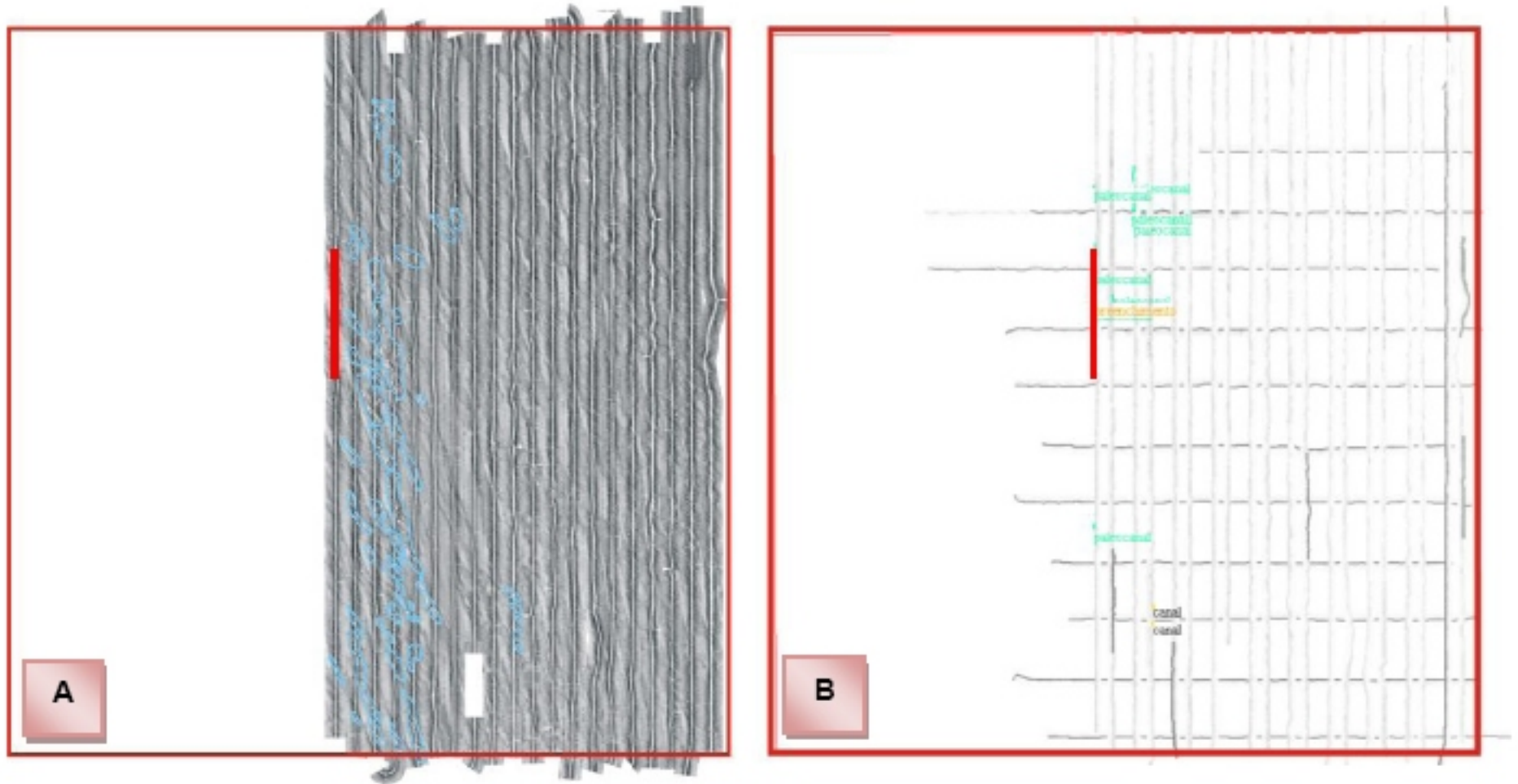


Figura Anexo 6 - Região de paleocanais com possível depósito de cascalho, na área 1 de trabalho. A ilustração corresponde a figura 43 do trabalho.

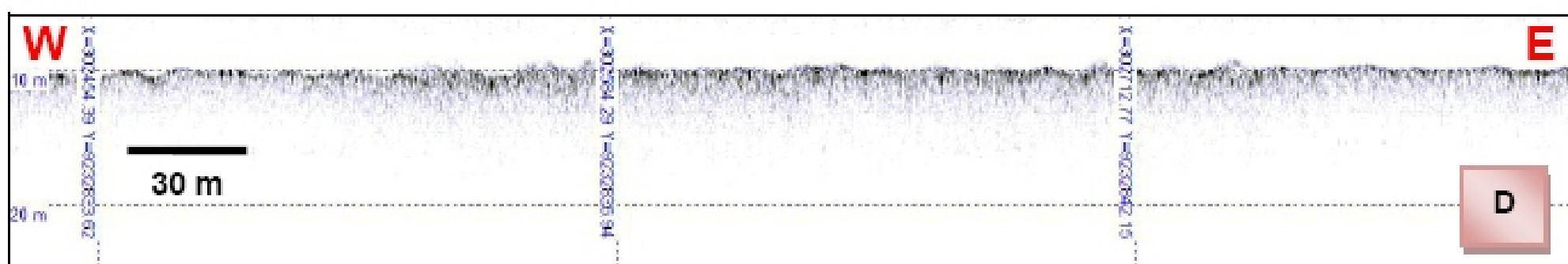
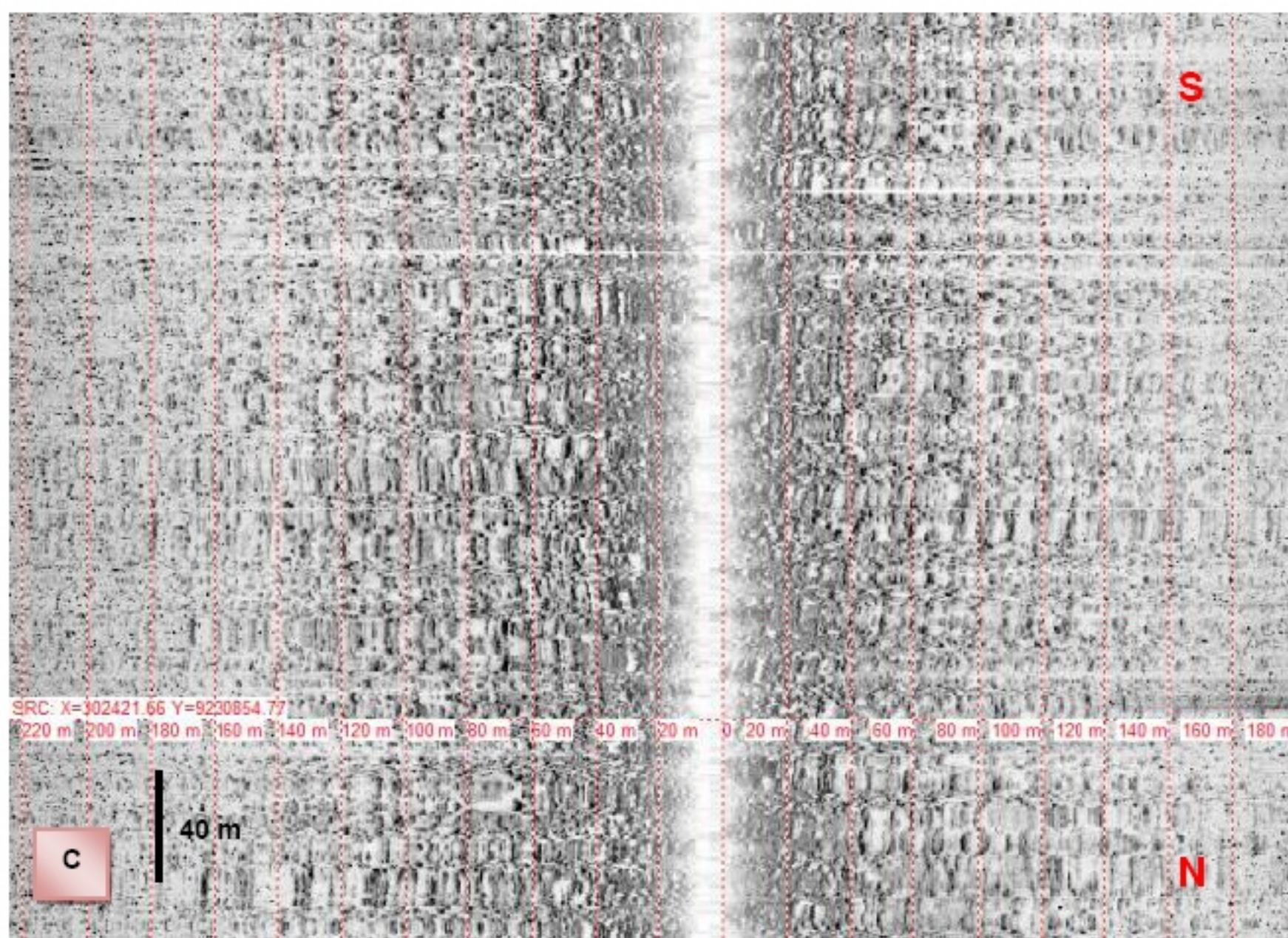
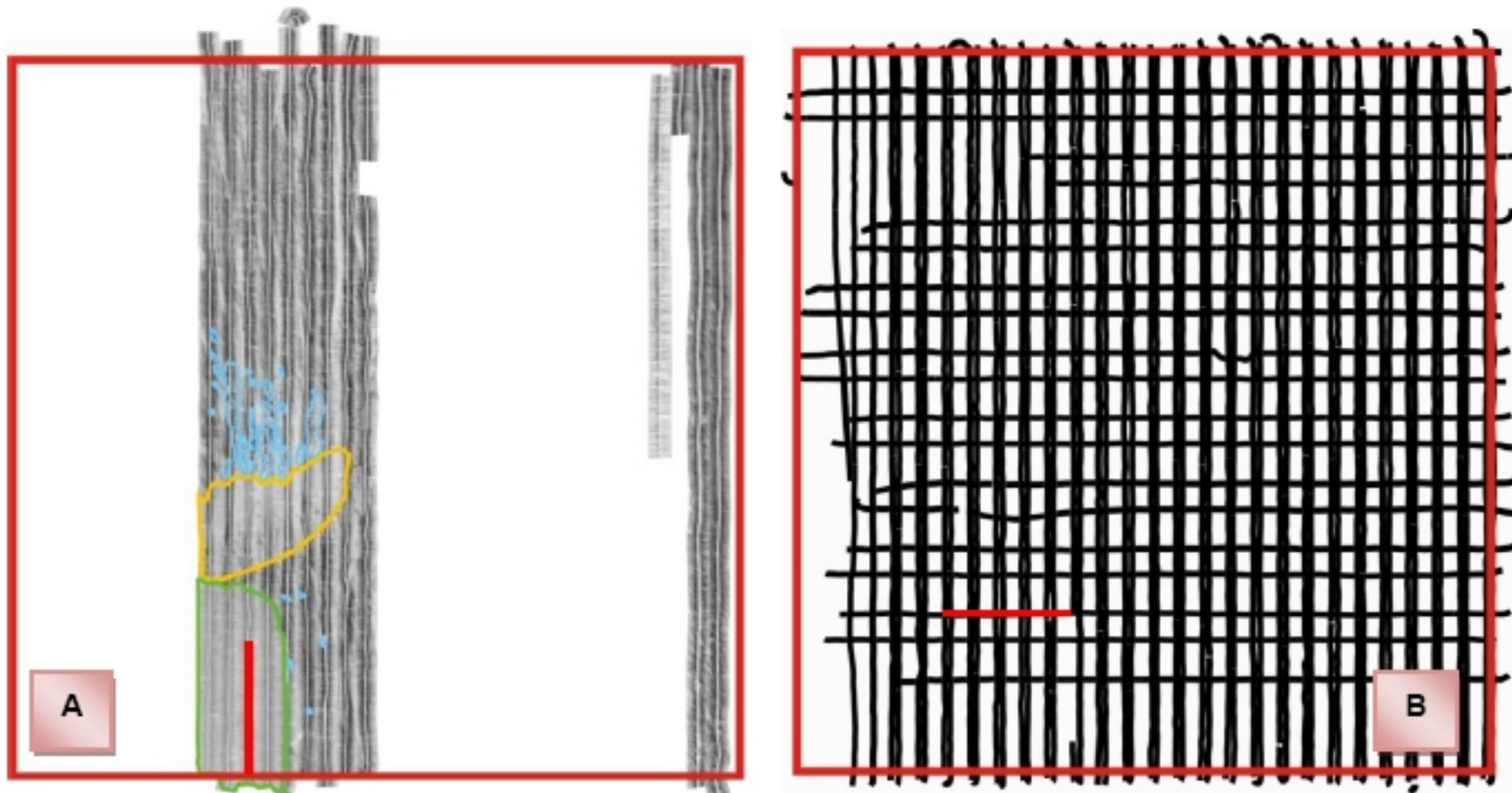


Figura Anexo 7 - Registro sonográfico e sísmico da região de bioclóstos na área 2 de trabalho. Em A) e B) o registro de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque. A ilustração corresponde a figura 44 do trabalho.

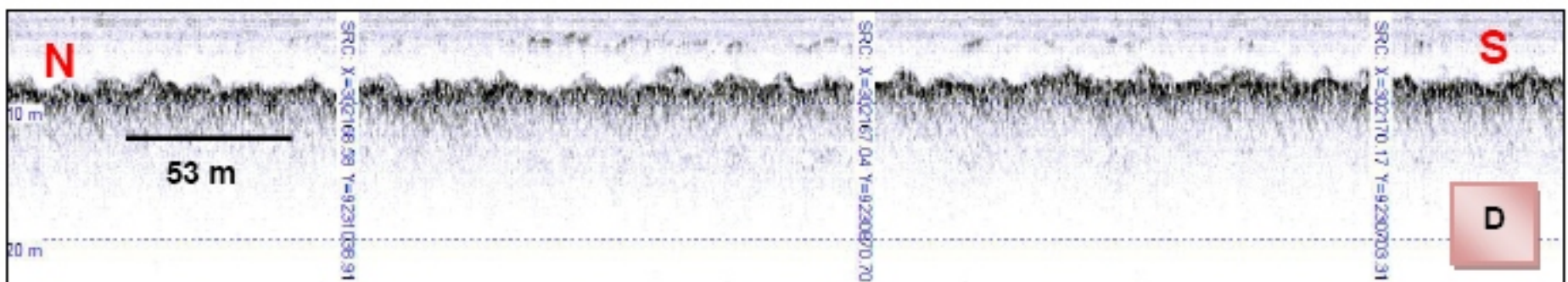
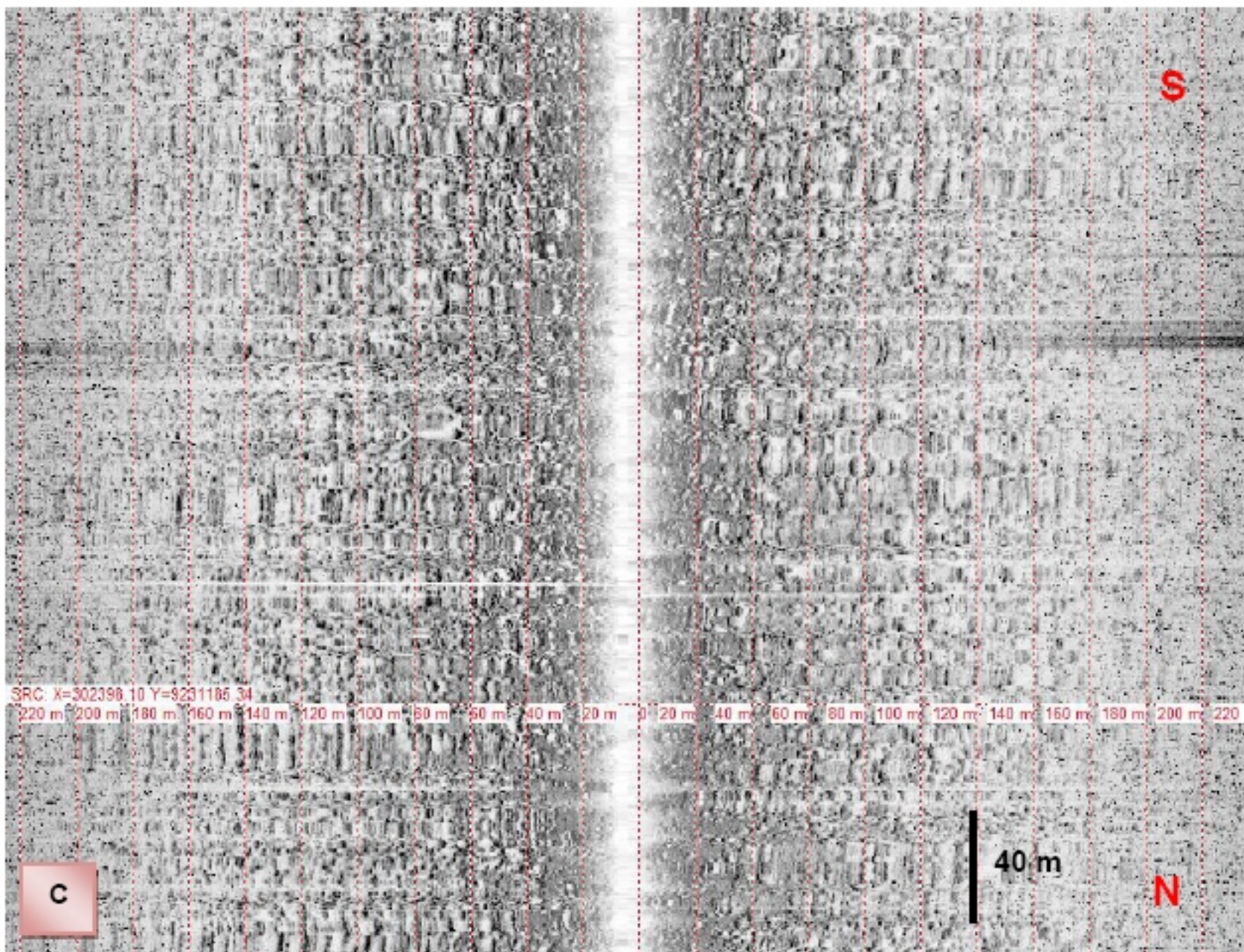
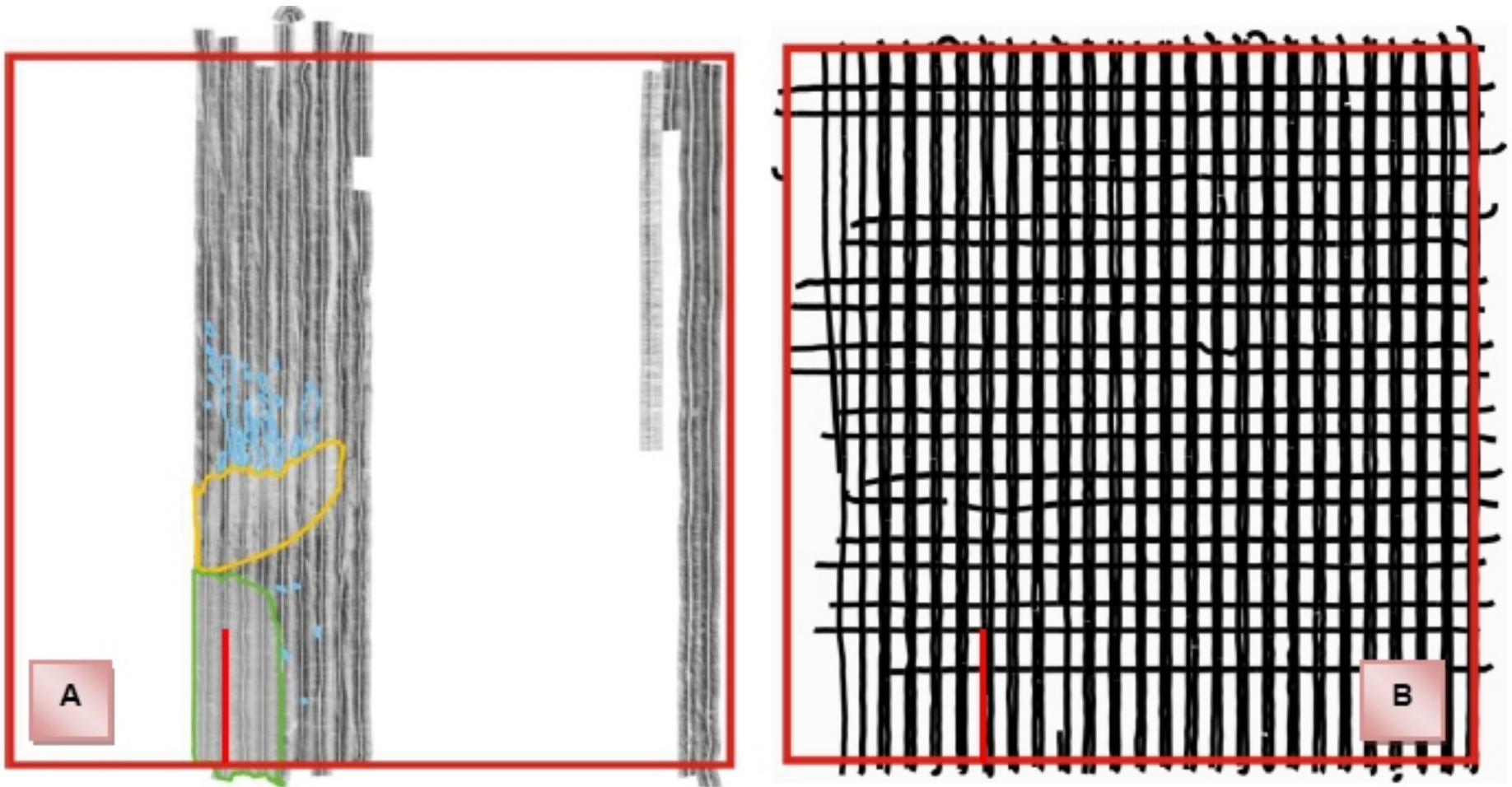


Figura Anexo 8 - Outro trecho da mesma área exposta na figura 44 do presente trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque. A ilustração corresponde a figura 45 do trabalho.

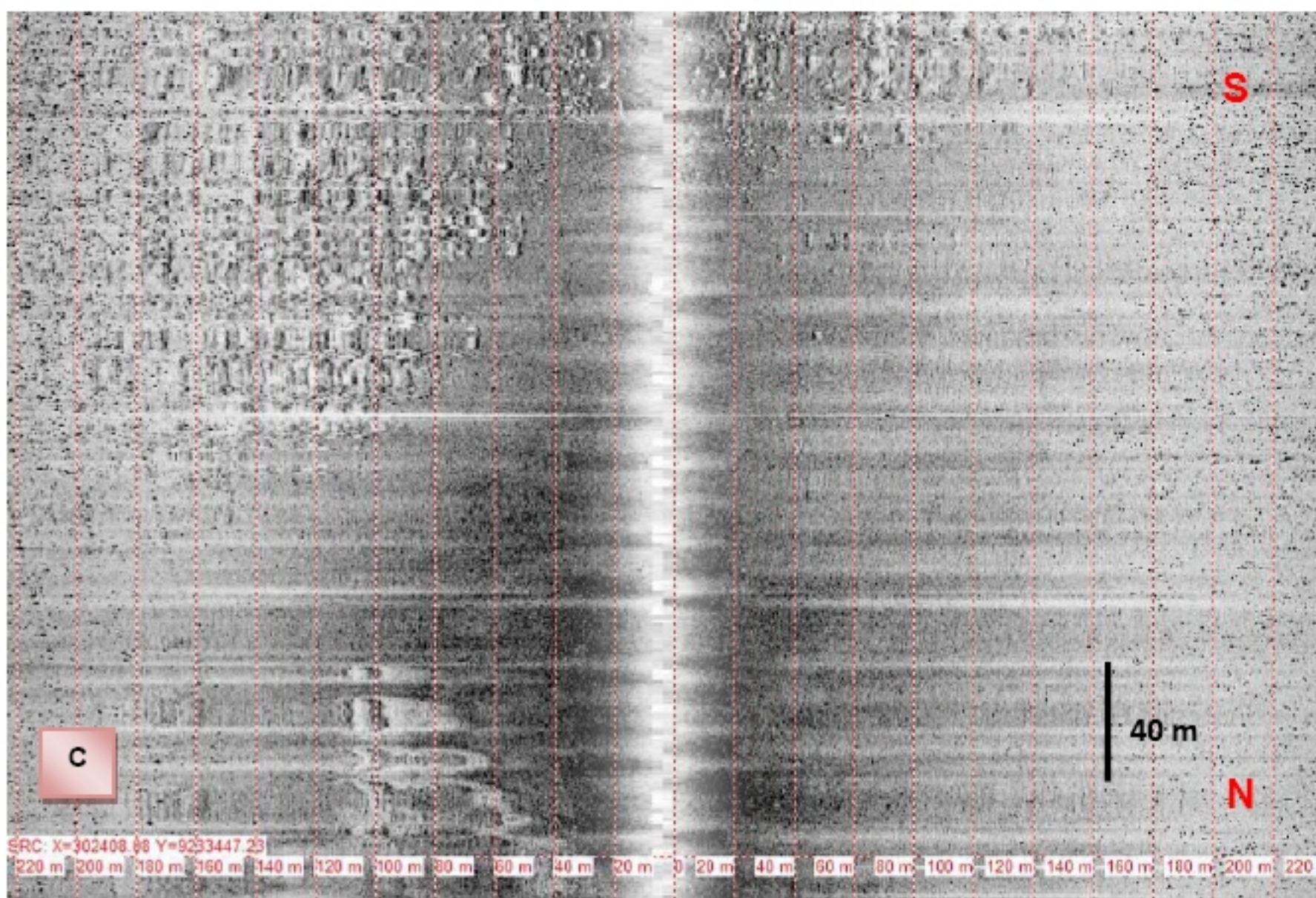
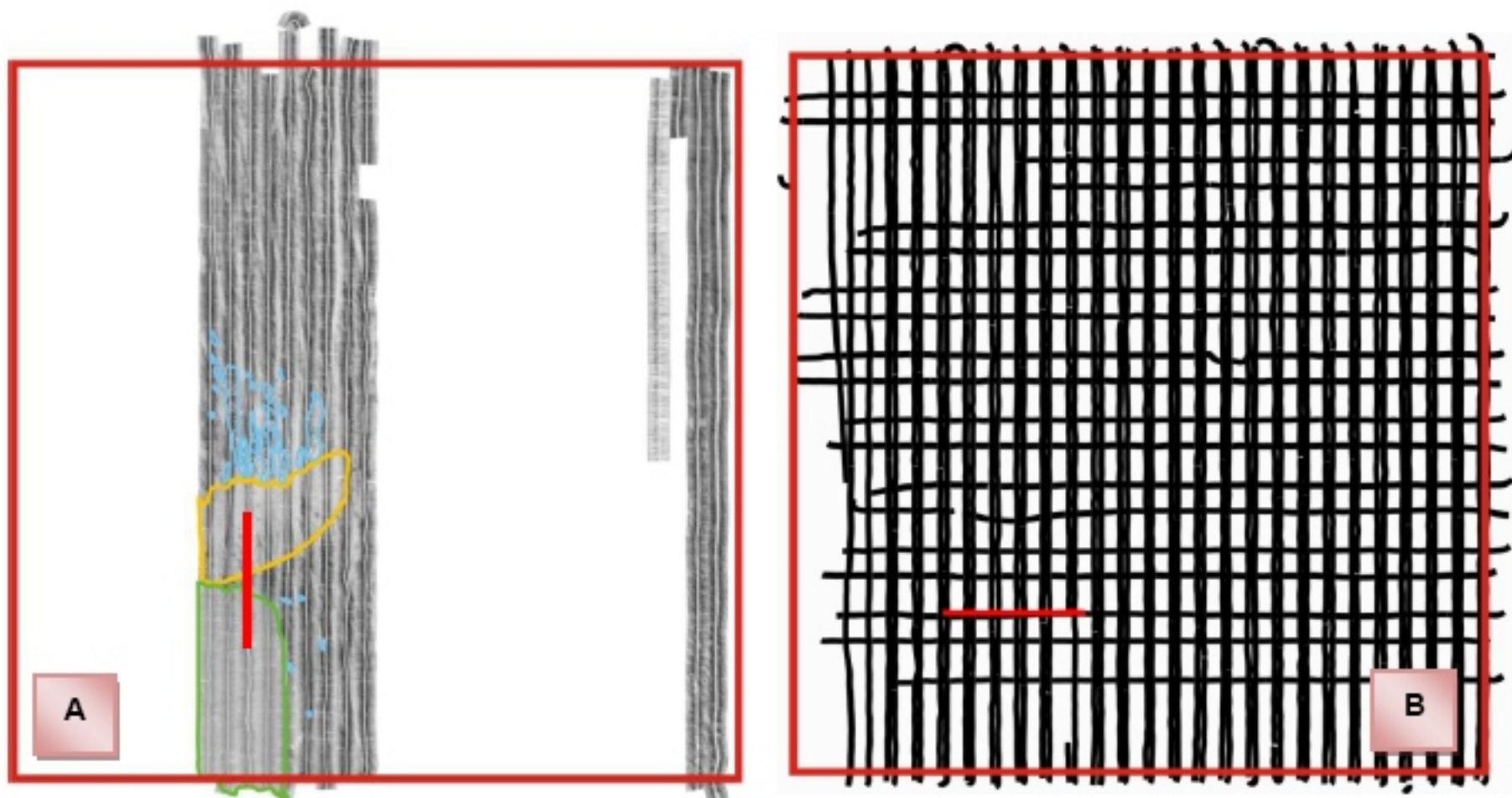


Figura Anexo 8 - Corresponde a figura 47 do presente trabalho. Registros geofísicos da região de transição de sedimentos grossos e finos, na área 2 de trabalho. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador, respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.

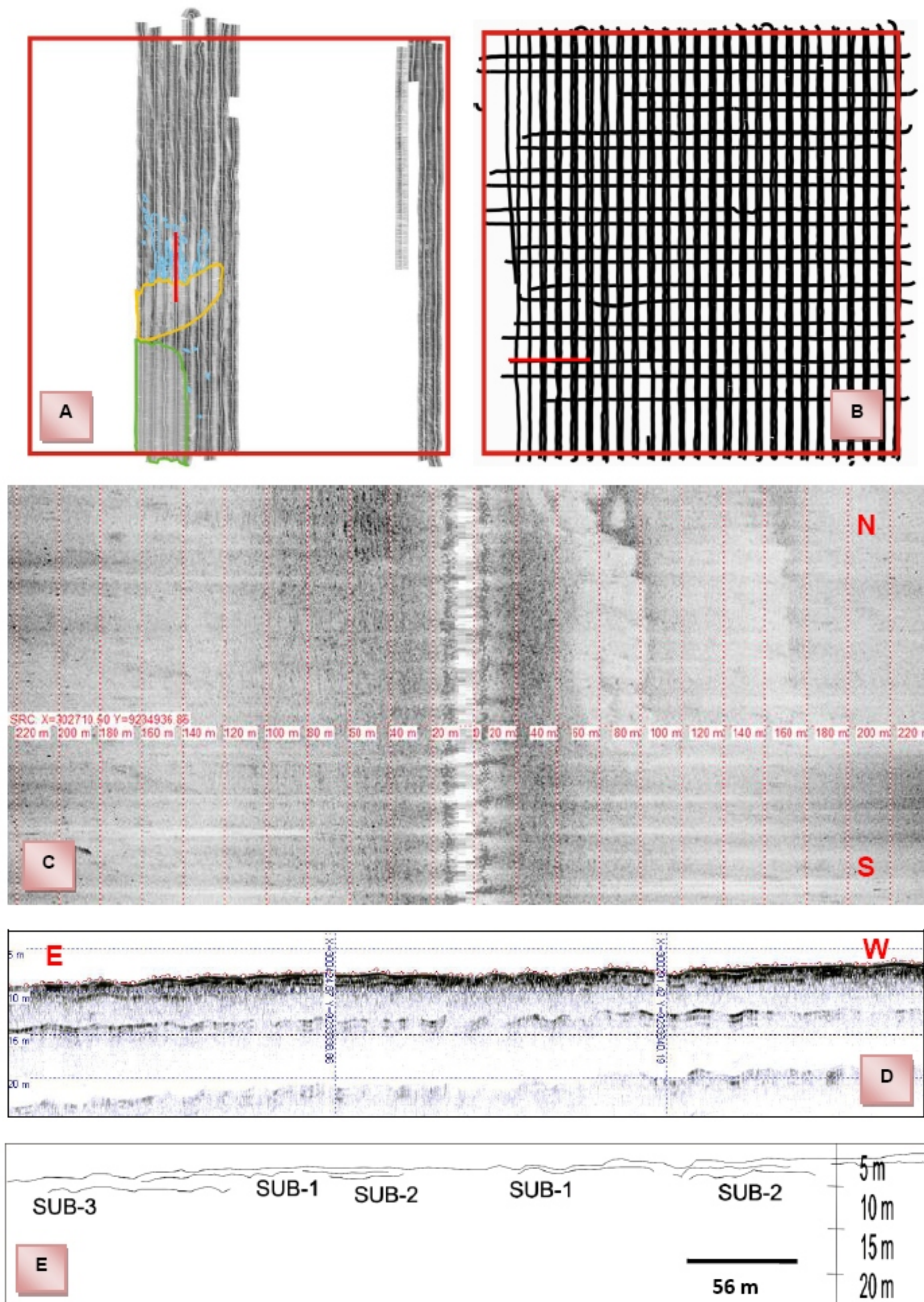


Figura Anexo 10 - Ilustração correspondente a figura 48 do trabalho. Refere-se ao ecocaráter de sedimentos fios, na área 2 de trabalho. Esta região mostra ainda os refletores acústicos de subsuperfície identificados. Em A) e B) o posicionamento da linha nos registros de sonar e perfilador respectivamente. Em C) e D) os trechos de linha em destaque.