

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

EDLENE PEREIRA DA SILVA

**GEOFÍSICA E SEDIMENTOLOGIA DA  
PLATAFORMA RASA ADJACENTE AO CABO DE  
SANTO AGOSTINHO E IPOJUCA, PERNAMBUCO,  
VISANDO A EXPLOTAÇÃO DE AREIAS  
SILICICLÁSTICAS.**

Tese de Doutorado  
2014

EDLENE PEREIRA DA SILVA

Geóloga, Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

Mestre, Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

**GEOFÍSICA E SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA RASA ADJACENTE AO CABO DE SANTO AGOSTINHO E IPOJUCA, PERNAMBUCO, VISANDO A EXPLOTAÇÃO DE AREIAS SILICICLÁSTICAS.**

Tese que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelos Professores Doutores Valdir do Amaral Vaz Manso e George Satander Sá Freire, em preenchimento parcial para obtenção do grau de Doutora em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 31 de Julho de 2014.

RECIFE

2014

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586g Silva, Edlene Pereira da.  
Geofísica e sedimentologia da plataforma rasa adjacente ao Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca – Pernambuco, visando a exploração de areias siliciclásticas. / Edlene Pereira da Silva. - Recife: O Autor, 2014.  
185 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso.  
Coorientador: Prof. Dr. George Satander Sá Freire.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2014.  
Inclui Referências e Anexos.

1. Geociências. 2. Sedimentologia. 3. Levantamento Geofísico. 4. Areias Siliciclásticas Marinhas. 5. Regeneração de Praias. I. Manso, Valdir do Amaral. (Orientador). II. Freire, George Satander Sá. (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-338

**GEOFÍSICA E SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA RASA ADJACENTE AO CABO DE SANTO AGOSTINHO E IPOJUCA, PERNAMBUCO, VISANDO A EXPLOTAÇÃO DE AREIAS SILICICLÁSTICAS.**

EDLENE PEREIRA DA SILVA

Aprovada:

---

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso 31/07/2014

---

Prof. Dr. George Satander Sá Freire 31/07/2014

---

Prof. Dr. Virgínio Henrique M. L. Neumann 31/07/2014

---

Prof. Dr. Enjôlras A. Medeiros Lima 31/07/2014

---

Prof. Dr. José Diniz Madruga Filho 31/07/2014

“Quem sabe concentrar-se numa coisa e insistir nela como único objetivo,  
obtém, ao fim e ao cabo, a capacidade de fazer qualquer coisa.”

*Mahatma Gandhi*

*Dedico este trabalho “IN MEMORIAM”  
a meus pais, Evaristo e Laura, como a realização de um sonho  
fruto de suas lutas e dedicação de toda uma vida*

## AGRADECIMENTOS

O trabalho de confecção de uma tese certamente envolve dedicação e pertinácia, mas representa, sobretudo, crescimento intelectual, como pessoa e profissional, proporcionando acima de tudo um despertar de sensibilidade para adquirir cada vez mais discernimento científico, ampliando a visão crítica, não só na área social e econômica, como também quanto aos valores que a hodiernidade nos impõe. Possibilitou ainda um treinamento de como exercer a profissão de geóloga, atuando na área do conhecimento abraçado, a geofísica, buscando com o emprego desta ferramenta, contribuir para melhorar a realidade social em que estamos inseridos, cientes do nosso papel.

Algumas pessoas participaram ativamente dessa parte da minha história, personagens a quem, com muita alegria e satisfação, expressei a minha gratidão, afirmando que foi fundamentalmente graças a esse esforço coletivo que foi alcançada mais esta etapa em minha vida. Assim, agradeço o inestimável apoio, interesse e incentivo de todas as pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para essa conquista.

A meu orientador, Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso, pelo constante apoio e transmissão de seus conhecimentos com suas valiosas críticas e sugestões guiando o trabalho de tese, bem como pela amizade, respeito e seu peculiar jeito simples e descontraído que sempre promoveram momentos agradáveis junto aos companheiros de convivência no Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha (LGGM).

Ao Prof. Dr. George Satander Sá Freire, coorientador da Universidade Federal do Ceará (UFC), pela atenção, questionamentos e sugestões com críticas esclarecedoras apresentadas nos momentos necessários.

Aos professores Coordenadores do Curso de Pós-Graduação em Geociências, Dr. Gorki Mariano e Dr. Sérgio Pacheco Neves, pela postura profissional eficiente e habilidosa relativas ao gerenciamento de assuntos discentes, e em consonância o apoio do secretário Igor Brandini e de estagiários que intermedeiam e encaminham os assuntos institucionais com a atenciosa assistência dispensada ao público.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Geociências e aos funcionários vinculados ao Departamento de Geologia (DEGEO/UFPE) que, no árduo exercício da sua

profissão, efetivamente viabilizam não só a formação acadêmica do corpo discente inserido nesta instituição, como também a formação de cidadãos para a sociedade, capacitados a exercerem suas aptidões.

Ao grande amigo Prof. Dr. Joaquim Alves da Motta, que prestou valiosa e efetiva contribuição, como orientador da monografia de graduação em geologia (2006), coorientador do mestrado (2008) e participante da Banca de Qualificação deste Doutorado, momento em que engrandeceu o trabalho geofísico desenvolvido com suas críticas e sugestões, além de me proporcionar o privilégio do seu convívio durante anos cedendo preciosos conselhos, incentivo e constante apoio nos momentos mais difíceis.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Lúcia Valença Mafra, pela atenção e cordialidade no campo acadêmico e pessoal, sobretudo pela orientação prestada nos estudos sedimentológicos.

Ao Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann, pelo direcionamento nos estudos dos carbonatos e apresentação geral do corpo da tese, além de sempre nos receber com presteza e bom humor, nos mais diversos problemas relacionados ao texto da tese.

Ao Prof. Dr. Paulo de Barros Correia pela atenção, sugestões e esclarecimentos relativos à cubagem de jazida.

Aos membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso, Prof. Dr. George Satander Sá Freire, Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann, Prof. Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima e Prof. Dr. José Diniz Madruga Filho, pelas correções e contribuição com análises críticas construtivas, fundamentais para aprimoramento desta tese, bem como os membros suplentes.

Ao Prof. Dr. Emanuel de Jesus Flores Montes, pela atenciosa permissão de acesso e uso do Laboratório de Oceanografia Química (LOQUIM -UFPE) - Departamento de Oceanografia / UFPE.

À colega bióloga Elisa Pitanga, pelo acompanhamento e orientação relativa à realização das análises químicas para determinação de teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) nas amostras de sedimentos de fundo junto ao LOQUIM-UFPE.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Helenice Vital da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, pela atenção e concessão do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental – GGEMMA/UFRN, juntamente à geóloga Narelle Maia de Almeida, por todo o apoio recebido e orientação na coleta e processamento dos dados sonográficos.

Aos companheiros do laboratório LGGM/UFPE, Sharliane Arruda, Eduardo Barreto, Geraldo Varela, Carlos Fernando, Natan Pereira, Thiago Almeida, Renê Macedo e João Oliveira, por todo o apoio em trabalhos de campo, laboratório, troca de ideias e generosa



partilha de conhecimentos. Destaco ainda o geólogo e técnico Miguel Arrais, pela assistência recebida e o veterano funcionário da UFPE, Sr. Luiz Gomes, pela cordialidade e afabilidades no trato com todos, no convívio dos trabalhos do LGGM.

Ao Eng. Isaac Cristiano de Freitas e toda sua equipe atuante nas etapas de campo, pelo trabalho competente nas coletas de dados em geral, executados de maneira diligente e proativa.

Aos geógrafos Dr. Rogério Valença Ferreira (CPRM-SGB) e M.Sc. Thaís de Oliveira Guimarães (DEGEO-UFPE), pela cessão de fotos das áreas de estudo para tese.

À Geóloga M.Sc. Élide Regina de Melo e Silva, que desde o início do projeto acompanhou de perto o andamento dos trabalhos e com sua paciência, experiência e transmissão de conhecimentos forneceu-me em diversos momentos informações, materiais e esclarecimentos fundamentais para desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos colegas de trabalho da CPRM-SGB / SUREG-RE, gerentes Adriano da Silva Santos (GEHITE) e Adeilson Alves Vanderley (GEREMI) pelo apoio e autorizações quando necessárias, juntamente à supervisora da GEHITE Melissa Franzen, pela orientação para tramitação da dispensa parcial auferida pela empresa, possibilitando a conclusão deste trabalho.

Aos companheiros da GEHITE: Carlos Eugênio da Silveira Arrais, Jorge Luiz Fortunato de Miranda; Fernanda Soares F. Miranda Torres, aos ex-estagiários Glauco de Leite Freitas e Katarine Maria Campello Machado, pela ajuda prestada.

Aos companheiros da GEREMI, Patrícia Reis de Alencar Oliveira, pela ajuda em Sensoriamento Remoto; Roberto Batista Santos e Ronaldo Gomes Bezerra, pela orientação no processamento dos dados batimétricos da pesquisa; Hortência Maria Barboza de Assis pela opinião crítica, aconselhamento sobre os métodos trabalhados; às técnicas Fabiana Ribeiro da Silva, pela ajuda na identificação dos bioclastos; e Betânia Queiroz da Silva pelo ajuda no processamento de dados.

Aos companheiros da GERIDE, Vanja Coelho Alcântara pelo apoio solícito, junto ao Laboratório (SECLAB) para estudo do material sedimentar, além de sua longa e inestimável amizade; Maria Angélica Fonseca Sampaio na ajuda para fotografia dos bioclastos; aos técnicos do geoprocessamento, Hugo Souza Ferreira e Janaína Marise F. de Araújo, aos técnicos de laminação Genner Alves de Mario e Saulo Moreira de Andrade, ao técnico em eletrônica Luiz Alexandre Rangel Bastos, pela ajuda prestada.

Ao amigo Prof. Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima, por todo o aconselhamento para adequação de diversos aspectos do conteúdo da tese, com a transmissão

de seus conhecimentos ao longo de proveitoso convívio e, sobretudo, pelo incentivo constante e confiança depositada.

À CAPES, pela bolsa de doutorado concedida no início do projeto e a FACEPE pelo financiamento dessa pesquisa, a qual também faz parte do Programa de Estudos e Pesquisa para Políticas Públicas Estaduais (FACEPE APQ – 0949-1.08/08) – Projeto de Geração de Subsídios Técnico-Científicos às Políticas Públicas de Proteção à Costa - PGEST.

De modo mais particular à minha família, meu bem mais precioso, a maior dádiva que Deus me presenteou, plasmada nas pessoas de minha tia Rosa, meus irmãos Eduardo, Edleuza, Ediluze e Emanuel, juntamente às suas extensões familiares, e minha sogra D. Severina Bezerra, pelo incentivo, apoio emocional e compreensão, considerando ainda os momentos de ausência física decorrente do tempo dedicado a esta pesquisa. Ao meu esposo Watson, pelo companheirismo e diuturna presença, impulsionando meu trabalho com afinco e provendo importante assistência não somente no campo emocional, como também com suas observações textuais e auxílio no campo da informática para formatação da tese.

Finalmente, a Jesus Cristo, o mais importante, o soberano Mestre dos Mestres, maior exemplo de vitória para todas as batalhas da vida, que cotidianamente nos demonstra seu amor, muitas vezes extrapolando a compreensão humana, mas cujo ideal se perpetua em meio às adversidades, onde faz germinar a cada dia uma nova semente, fonte de luz e de compreensão para todos.

A todos, meus melhores agradecimentos!

## Agradecimentos especiais

Esse trabalho de cunho intelectual foi primordialmente motivado pela busca de reequilíbrio emocional, originada a partir da ausência física de Laura, minha mãe, uma mulher grandiosa, com quem tive a felicidade e o privilégio de conviver e ser carinhosamente orientada na escola da vida durante quase 34 anos. Ao partir deste mundo, esse ser sublime que enalteço me impulsionou inconscientemente a voltar às minhas bases educacionais (UFPE) e usar como armas a maior herança que ela, juntamente a meu pai Evaristo, me deixou: a fé em Deus, meus irmãos e a vontade para lutar e sobreviver diante das adversidades.

Foi-me ensinado também por eles a não se esquecer de estar em paz, contemplar a mãe natureza e nossos irmãos os animais e as plantas, que nos aformoseiam e adornam a Terra ensinando-nos a viver em harmonia. Exemplo são as delicadas rosas, que mesmo vivendo num campo hostil filtram as impurezas circundantes, exalando inigualável perfume, com uma beleza sedutora e uma incomparável sensação ao toque de suas pétalas sedosas. Os pássaros com suas belas e diversificadas aparências encantam com seu canto e, apesar de muitas vezes tristes e maltratados, despertam-nos com seus sons maviosos a contemplar os raios de sol de cada novo amanhecer.

Expresso todo o meu respeito, carinho e amor a meus pais, verdadeiros arquétipos de sabedoria para viver a vida, minha inspiração cada dia mais vivos dentro de mim. Agradeço a Deus por eles e pela vida feliz que me proporcionaram e por resguardar a essência de seus valores: devemos enfrentar a vida e tudo que ela nos reserva com muita perseverança, amor, fé e resignação, principalmente nas horas mais difíceis e na busca das realizações dos nossos sonhos, resguardados em nosso mundo interior.

Agora nesta fase adulta, guardo de forma indelével em meu coração, a lembrança dos fatos que vivi e observei com meus olhos de criança. Aprendi, sobretudo, a apreciar toda a pureza e beleza que a Natureza nos proporciona, percepção que meus pais sem querer colocaram dentro de mim.

Aos meus pais, com muitas saudades!

## RESUMO

Os estudos desta pesquisa objetivaram definir áreas com reservas de areias siliciclásticas submarinas com finalidade de servir de material de empréstimo para regeneração de praias circunvizinhas. A prospecção destas areias foi levada a termo na plataforma continental proximal dos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, Pernambuco, Brasil. Para tal finalidade foram gerados, processados, interpretados e integrados dados de Sonografia, Sensoriamento Remoto, Batimetria, Sísmica e estudos de sedimentos de fundo nas áreas inicialmente selecionadas para pesquisa. A partir do processamento digital de imagens obtiveram-se inferências do material em suspensão que, integradas com os demais dados adquiridos, posicionaram e caracterizaram os sedimentos no assoalho marinho. Uma área marinha a nordeste da praia de Pedra do Xaréu foi selecionada a partir da triagem de sucessivos estudos, identificada como uma jazida marinha de sedimentos siliciclásticos passíveis de exploração por apresentar dimensões granulométricas e quantidades compatíveis com a finalidade de extração como recurso mineral. Ressalte-se que a área selecionada para a jazida, mesmo sob o prisma econômico-ambiental, apresenta-se também favorável à sua exploração não só devido à proximidade com áreas erodidas, como também referente à minimização dos impactos negativos decorrentes de sua possível mineração. A reserva inferida foi calculada para aproveitamento com espessura de 2,086 m excluindo o valor de sobre-dragagem, e aponta para um volume de 2.713.497 m<sup>3</sup> de areia, apresentando entre 70% a 90% de material siliciclástico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sedimentologia. Levantamento Geofísico. Areias Siliciclásticas Marinhas. Regeneração de Praias.

## ABSTRACT

The studies conducted in this research aim to define areas of submarine siliciclastic sand reserves targeted to serve as borrow-up material to recover degraded, adjacent beaches. Prospection of these sands was done at the immediate continental platform from the cities Cabo de Santo Agostinho and Ipojuca, Pernambuco State, Brazil. For such task Sonography, Remote Sensing, Bathymetry, Seismic and seafloor sediment studies data on the selected research areas were generated, processed, interpreted and integrated. Inferences were taken from digital image processing on the floating material that, once integrated with the remaining acquired data, pinpointed and characterized the sediments on the seafloor. An area northeast from the “Pedra do Xaréu” beach was selected through successive studies and identified as a submarine field of siliciclastic sediments which are susceptible of exploitation for showing granulometric dimensions and quantity compatible with their extraction as a mineral resource. Let us emphasize that the selected field area shows itself promising to exploitation even under the economical-environmental view, not only due to its proximity from eroded shoreline areas but also regarding mitigation of negative impacts from its’ mining. The inferred reserve was calculated for harnessing with a thickness of 2.086 m excluding the overdredging margin, and it shows a raw volume of 2,713,497 m<sup>3</sup> of sand with 70 to 90 percent of siliciclastic material.

**KEYWORDS:** Sedimentology. Geophysical Survey. Marine Siliciclastic Sands. Beach Recovery.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	23
1.1 OBJETIVOS .....	23
1.1.1 Objetivo Geral.....	23
1.1.2 Objetivos Específicos .....	23
1.2 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE .....	24
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	26
2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	27
2.2.1 Unidades Litoestratigráficas .....	29
2.2.2 Aspectos Geológico-Estruturais.....	31
2.3 MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA.....	32
2.3.1 Plataforma Continental .....	33
2.3.2 Plataforma Continental do Nordeste .....	34
2.3.3 Plataforma Continental de Pernambuco .....	35
2.3.4 Caracterização da Área de Estudo.....	37
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	38
3.2 TRABALHOS DE CAMPO .....	38
3.2.1 Amostragem sedimentológica.....	38
3.2.2 Levantamento Sísmico .....	40
3.2.3 Levantamento Batimétrico.....	43
3.2.4 Levantamento Sonográfico .....	45
3.3 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO.....	49
3.3.1 Tratamento das Amostras Sedimentológicas.....	51
3.3.2 Análise da natureza granulométrica dos sedimentos.....	53
3.3.3 Análise Composicional Mineralógica dos Sedimentos.....	55
3.4 TRABALHOS DE GABINETE - TRATAMENTO DOS DADOS GEOFÍSICOS.....	58
3.4.1 Processamento dos dados sísmicos: .....	58
3.4.2 Tratamento dos dados batimétricos e confecção dos mapas e modelos 3D .....	58

3.4.3 Tratamento dos dados Sonográficos.....	61
3.5 UTILIZAÇÃO IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE CARTAS NÁUTICAS .....	65
3.6 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA JAZIDA.....	66
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	68
4.1 ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS.....	68
4.1.1 Resultado das Análises dos Parâmetros Estatísticos .....	68
4.1.2 Análise Composicional Mineralógica dos Sedimentos .....	86
4.2 ANÁLISE DE FEIÇÃO DE FUNDO POR MEIO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO .....	100
4.3 ESTUDOS GEOFÍSICOS .....	106
4.3.1 Resultados do Levantamento Sísmico .....	106
4.3.2 Resultados do Levantamento Batimétrico .....	106
4.3.3 Comparação dos mapas batimétricos com o de teor de carbonato de cálcio: .....	127
4.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS .....	131
4.4.1 Carta Náutica.....	131
4.4.2 Sensoriamento Remoto <i>versus</i> Batimetria.....	132
4.4.3 Resultados do Levantamento Sonográfico .....	136
4.5 MAPA DE INTEGRAÇÃO DOS DADOS .....	155
CAPÍTULO 5 – CÁLCULO VOLUMÉTRICO DA JAZIDA.....	157
5.1 GENERALIDADES.....	157
5.2 ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DO DEPÓSITO .....	158
5.2.1 Granulados Siliciclásticos.....	158
5.3 ASPECTOS CONSIDERADOS PARA ESTABELEECER OS LIMITES DA JAZIDA.....	162
5.4 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	163
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO.....	164
REFERÊNCIAS .....	167
ANEXOS.....	178
ANEXO 1 – ESCALA DE UDDEN-WENTWORTH.....	178
ANEXO 2 – BIOCLASTOS DAS ÁREAS X E Y ESTUDADAS .....	179
Prancha 1 – Foraminíferos .....	179
Prancha 2 – Conchas de Bivalves.....	180

Prancha 3 – Conchas de Gastrópodes.....	181
Prancha 4 – Conchas de Gastrópodes.....	182
Prancha 5 – Tubos de Vermes e Algas Calcárias dos Tipos Clorofíceas ( <i>Halimeda</i> ) e Vermelhas Coralíneas ( <i>Lithothamnium</i> ).....	183
Prancha 6 – <i>Bryozoa</i> e <i>Cnidária</i> (corais).....	184
Prancha 7 – Equinodermos, Placa de equinoides e Poríferos (Esponjas).....	185



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização das áreas de estudo posicionadas adjacentes à costa de Pernambuco - Brasil.....	26
Figura 2.2 – Localização da Bacia Pernambuco, em destaque .....	27
Figura 2.3 – Seção geológica esquemática na Bacia Pernambuco (parte marinha), mostrando o arcabouço estrutural e estratigráfico das sequências sin-rifte e pós-rifte .....	28
Figura 2.4 – Coluna Litoestratigráfica da Bacia Pernambuco.....	30
Figura 2.5 – Perfil sísmico transversal da zona submersa da Bacia Pernambuco.....	31
Figura 2.6 – Principais falhas e estruturas da Bacia Pernambuco .....	32
Figura 2.7 – Características de uma margem Continental Passiva.....	33
Figura 3.1 – Amostrador em inox, tipo <i>Van Veen</i> - draga pontual de superfície.....	39
Figura 3.2 – Distribuição das amostras coletadas nas áreas X e Y.....	39
Figura 3.3 – Linhas de posicionamento do levantamento sísmico realizado nas áreas X e Y..	40
Figura 3.4 – Equipamento <i>Sub-bottom profiler</i> utilizado para aquisição dos dados sísmicos.	41
Figura 3.5 – GPSmap 420s GARMIN utilizado para orientar a navegação durante a aquisição dos dados sísmicos.....	41
Figura 3.6 – Aquisição de dados Sísmicos.....	42
Figura 3.7 – Localização dos perfis batimétricos nas subárea A e B, transversais à linha de costa das áreas pesquisadas.....	43
Figura 3.8 – Trabalho de aquisição dos dados. ....	44
Figura 3.9 – GPS 72H da GARMIN.....	45
Figura 3.10 – Sonda <i>chartplotter</i> modelo GPSMAP 520s GARMIN.....	45
Figura 3.11 – Malha amostral de posicionamento dos perfis sonográficos, na subárea $\alpha$ .....	46
Figura 3.12 – Embarcação utilizada para coleta dos dados sonográficos.....	47
Figura 3.13 – À direita, computador utilizado para aquisição dos dados Sonográficos . À esquerda, notebook com os perfis planejados.....	47
Figura 3.14 – Programação do Computador de bordo e do GPS acoplado para aquisição dos dados.....	47

Figura 3.15 – <i>Towfish</i> “peixe ou torpedo”, Modelo 272-TD, da marca <i>EdgeTech</i> , usado para aquisição dos dados Sonográficos.....	48
Figura 3.16 – “Torpedo” <i>Towfish</i> sendo baixado na água, conectado por cabo ao computador de bordo na embarcação.....	48
Figura 3.17 – GPSmap 62s utilizado para posicionamento dos perfis.....	49
Figura 3.18 – Sonda Garmin GPSmap 420s GARMIN utilizada para orientar o barco.....	49
Figura 3.19 – Fluxograma dos métodos utilizados para realização das análises granulométricas e mineralógicas dos sedimentos de fundo.....	50
Figura 3.20 – Estufas utilizadas no laboratório para secagem das amostras.....	51
Figura 3.21 – Conjunto de <i>rotaps</i> com peneiras utilizadas para separação dos grãos secos....	52
Figura 3.22 – Mapa base do levantamento da amostragem sedimentológica.....	54
Figura 3.23 – Laboratório de Oceanografia Química da UFPE.....	55
Figura 3.24 – Lupa binocular LIEDER utilizada para triagem e classificação dos grãos.....	57
Figura 3.25 – Representação em 3D do <i>Grid</i> (malha) gerado pela interpolação “Krigagem”.....	59
Figura 3.26 – Comparação de curvas/pontos dos perfis batimétricos a partir da superposição de valores medidos X interpolados.....	60
Figura 3.27 – Sonograma bruto apresentando imagem sem tratamento, com destaque para a área do ‘nadir’ e a coluna d’água.....	63
Figura 3.28 – Ajuste da curva TVG (Time Variable Gain) para corrigir distorções causadas por irregularidades no terreno.....	63
Figura 3.29 – À esquerda: imagem sonográfica bruta; à direita, resultado da filtragem no programa SonarWiz, realçando a textura rugosa do substrato consolidado.....	64
Figura 4.1 – Distribuição do percentual do Diâmetro Médio da área X.....	69
Figura 4.2 – Distribuição do percentual do Diâmetro Médio da área Y.....	69
Figura 4.3 – Mapa de Diâmetro Médio apresentando a distribuição média das diferentes populações de grãos.....	71
Figura 4.4 – Expressão gráfica esquemática do modelo de Shepard (1932) / Emery (1952), in Dias (2004).....	72
Figura 4.5 – Distribuição do percentual de Curtose da área X.....	73
Figura 4.6 – Distribuição do percentual de Curtose da área Y.....	74
Figura 4.7 – Mapa de distribuição dos valores de Curtose dos sedimentos das áreas X e Y...75	75
Figura 4.8 – Distribuição do percentual de Desvio Padrão da área X.....	76
Figura 4.9 – Distribuição do percentual de Desvio Padrão da área Y.....	77

Figura 4.10 – Mapa de Desvio Padrão (distribuição do grau de seleção) dos sedimentos das áreas X e Y.....	78
Figura 4.11 – Distribuição do percentual de assimetria da área X.....	79
Figura 4.12 – Distribuição do percentual de assimetria da área Y.....	79
Figura 4.13 – Mapa de distribuição dos valores de Assimetria dos sedimentos das áreas.....	80
Figura 4.14 – Distribuição percentual da fácies textural observada na área X.....	81
Figura 4.15 – Distribuição percentual da fácies textural observada na área Y.....	82
Figura 4.16 – Mapa das Fácies Textural das áreas X e Y.....	83
Figura 4.17 – Mapas do Diâmetro médio das Áreas X e Y com áreas A e B escolhidas para os estudos subsequentes.....	85
Figura 4.18 – Gráfico do Percentual dos Teores de Carbonato de Cálcio da subárea A.....	86
Figura 4.19 – Gráfico do Percentual do Teor de Carbonato de Cálcio da subárea B.....	87
Figura 4.20 – Mapas de Teores de Carbonato (CaCO <sub>3</sub> ) para as subáreas A e B.....	88
Figura 4.21 – Mapa do Teor de Carbonato (CaCO <sub>3</sub> ) gerado para a subárea A.....	89
Figura 4.22 – Mapa do Teor de Carbonato (CaCO <sub>3</sub> ) gerado para a subárea B.....	90
Figura 4.23 – Amostra 45: formada predominantemente por sedimentação terrígena siliciclástica da área X.....	92
Figura 4.24 – Amostra 54: sedimentação predom. terrígena siliciclástica da área X.....	92
Figura 4.25 – Amostra 24: Sedimento terrígeno siliciclástico da área X.....	93
Figura 4.26 – Amostra 58: sedimentação predominantemente carbonática da área X.....	93
Figura 4.27 – Amostra 80: formada predominantemente por sedimentos biogênicos na área Y.....	93
Figura 4.28 – Amostra 88: Predomínio de sedimentos carbonáticos pertencentes à área Y...	93
Figura 4.29 – Amostra 83: Sedimentação litobioclástica da área Y, com fração biogênica dispersa.....	93
Figura 4.30 – Amostra 92: sedimentação predominantemente bioclástica da área Y.....	93
Figura 4.31 – Amostras formadas predominantemente por sedimentação siliciclástico – mostrando as diferentes colorações das areias quartzosas das áreas de estudo.....	94
Figuras 4.32 e 4.33 – Amostras formadas predominantemente por sedimentação carbonática – Presença de fragmentos de exo-esqueletos, conchas e carapaças diversas e algas calcárias....	94
Figuras 4.34 a 4.37 – Algas calcárias na forma de rodolitos presentes nas amostras .....	95
Figura 4.38 – Sedimentação siliciclástica área Y: grãos de quartzo diversos.....	97
Figura 4.39- Sedimentação siliciclástica área Y: grãos de quartzo diversos.....	97

Figura 4.40 – Sedimentação siliciclástica: grãos de quartzo hialino. ....	96
Figura 4.41 – Sedimentação siliciclástica: quartzo hialino impregnados com óxidos/hidróxidos de ferro .....	96
Figura 4.42 – Sedimentação área X: fragmentos líticos. ....	97
Figura 4.43 – Sedimentação área X: grãos de sílica .....	97
Figura 4.44 - Agregados de minerais com cimentação carbonática na Área X.....	97
Figura 4.45 - Agregados de minerais com cimentação carbonática.....	97
Figuras 4.46, 4.47 e 4.48 – Sedimentação da área Y: possíveis Minerais Reliquiães .....	97
Figura 4.49 – Algas dos tipos <i>Halimeda</i> presentes na área Y .....	98
Figura 4.50 – Algas dos tipos <i>Lithothamnium</i> presentes na área Y .....	98
Figura 4.51– Foraminíferos presentes na área Y .....	98
Figura 4.52 – Briozoários encontrados na área Y .....	98
Figura 4.53 – Corais Escleractíneos solitários presentes em amostra da área X.....	98
Figura 4.54 – Conchas de Bivalves encontrados na área X .....	99
Figura 4.55 – Conchas de Moluscos na área X .....	99
Figura 4.56 – Placas de equinodermos na área X.....	99
Figura 4.57 – Equinodermos: Fragmentos de espinhos de ouriço .....	99
Figura 4.58 – Grão de quartzo com formato bipiramidal. ....	99
Figuras 4.59 e 4.60 – <i>Halimeda</i> jovem .....	99
Figura 4.61 – Conchas de bivalve inteiras e articuladas encontrada na área X .....	100
Figura 4.62 – Detalhe mostrando a concha da esquerda da Figura 4.61 articulada, indicativa de ambiente de baixa energia .....	100
Figura 4.63 – Carta imagem utilizando a imagem de satélite com recorte do continente, destacando a localização das subáreas A e B.....	101
Figura 4.64 – Localização das subáreas A e B, usando a imagem de satélite com ajuste de histograma e filtros direcionais.....	103
Figura 4.65 – Destaque das subáreas A e B sobre imagem de satélite tratada com filtros direcionais e inclinação solar de 45°.....	103
Figura 4.66 – Mapas Batimétricos das subáreas A e B.....	107
Figura 4.67 – Detalhe mostrando Mapa ou Carta Batimétrica de Contorno da subárea A.....	109
Figura 4.68 – Mapa de Declividade da subárea A.....	109
Figura 4.69 – Modelos Digitais do Terreno (MDT) da subárea A.....	111

Figura 4.70 – Perfis batimétricos de direção leste-oeste com seu posicionamento ao lado, sobre o Mapa Batimétrico da subárea A.....	113
Figura 4.71: Praia de Itapuama, localizada lateralmente ao Perfil 1-1’.....	114
Figura 4.72: Vista da Praia de Pedra do Xaréu, adjacente ao Perfil 2-2’.....	114
Figura 4.73: Praia de Enseada dos Corais, adjacente ao Perfil 3-3’.....	115
Figura 4.74: Vista da Praia de Calhetas, nas proximidades do perfil 4-4’.....	116
Figura 4.75: Vista da praia do Cabo de Santo Agostinho, mostrando as ruínas do Forte Castelo do Mar.....	116
Figura 4.76 – Perfis batimétricos de direção norte-sul com seu posicionamento ao lado, sobre o Mapa Batimétrico da subárea A.....	118
Figura 4.77 – Perfis batimétricos transversais à linha de costa mostrando o posicionamento dos mesmos ao lado, sobre o Mapa Batimétricos da subárea A.....	120
Figura 4.78 – Mapa ou Carta Batimétrica de Contorno da subárea B.....	122
Figura 4.79 – Mapa de Declividade da subárea B.....	123
Figura 4.80 – Modelos Digitais do Terreno (MDT) da subárea B.....	124
Figura 4.81 - Mapa ou Carta Batimétrica de Contorno da subárea B.....	125
Figura 4.82- Perfis Batimétricos da subárea B.....	125
Figura 4.83 - Praias da Gamboa e Muro Alto ao fundo.....	126
Figura 4.84 - Praia de Gamboa, município de Ipojuca–PE.....	126
Figura 4.85 – Mapa Batimétrico da subárea A.....	128
Figura 4.86 – Mapa do Teor de Carbonato (CaCO <sub>3</sub> ) gerado para a subárea A.....	128
Figura 4.87 – Mapa de Contorno Batimétrico da subárea B.....	130
Figura 4.88 – Mapa de Teor de Carbonato da subárea B com as isobatimétricas sobrepostas.....	130
Figura 4.89 – Carta Náutica registrando existência de bancos de areia na subárea A .....	131
Figura 4.90 – Imagem de Sensoriamento Remoto com a delimitação das áreas X e Y e subáreas A e B .....	132
Figura 4.91 – Isobatimétricas sobrepostas à Imagem de satélite.....	134
Figura 4.92 – Isobatimétricas sobrepostas à Imagem de satélite filtrada.....	134
Figura 4.93 – Imagem de Sensoriamento Remoto com as isobatimétricas da subárea X .....	135
Figura 4.94 – Mosaico da área $\alpha$ redefinida, montado a partir do tratamento e sobreposição dos sonogramas obtidos nos levantamentos sonográficos.....	137

Figura 4.95 – Imagem do mosaico sonográfico mostrando recifes desenvolvidos sobre rochas vulcânicas, nas adjacências de Pedra do Xaréu.....	139
Figura 4.96 – Mosaico mostrando imagem uniforme, ausência de rugosidades representando sedimentação não consolidada, a noroeste da área do levantamento.....	140
Figura 4.97 – Imagem do mosaico sonográfico mostrando porções com alta reflectância, sugestivas de sedimentos consolidados ou afloramentos rochosos.....	141
Figura 4.98 – Imagem sonográfica mostrando substratos consolidados.....	142
Figura 4.99 – Substratos consolidados posicionados na linha 4.....	143
Figura 4.100 – Imagem sonográfica da linha 14 mostrando substratos consolidados.....	144
Figura 4.101 – Trecho da imagem sonográfica da linha 14 mostrando uma pequena ocorrência de recife.....	145
Figura 4.102 – Sequência de recifes arredondados agrupados a norte na linha 19.....	146
Figura 4.103 – Imagem sonográfica mostrando trechos da linha 09.....	147
Figura 4.104 – Imagem sonográfica mostrando recifes de coral isolados e agrupados no trecho da linha 09.....	148
Figura 4.105 – Imagem sonográfica de trecho central da linha 24 mostrando manchas esbranquiçadas.....	149
Figura 4.106 – Imagem sonográfica de trecho da linha 24.....	150
Figura 4.107 – Imagens de perfis sonográficos (Linha 21) mostrando sulcos a NE da área $\alpha$ estudada.....	151
Figura 4.108 – Imagem sonográfica da Linha 21 mostrando sulcos a NE da área estudada..	152
Figura 4.109 – Mosaico com sobreposição das feições características observadas na área de estudo.....	154
Figura 4.110 – Mapa de integração dos dados, ilustrando as áreas de realização dos levantamentos.....	155
Figura 5.1 – Mapas de integração dos dados com área selecionada para jazida e a locação dos furos testemunhados .....	159
Figura 5.2 – Mapa mostrando a delimitação da área da Jazida sobreposto ao mapa do isoteor de $\text{CaCO}_3$ .....	160
Figura 5.3 – Representação esquemática dos resultados das análises dos testemunhos bons (T1 a T8), obtidos pela empresa C&B durante campanha de testemunhos geotécnicos.....	161

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registro da fração dos grãos para cada amostra (segundo classificação de Udden-Wentworth, 1922). .....	52
Tabela 2 - Classificação dos Sedimentos, segundo a Escala Granulométrica de Udden-Wentworth (1922). .....	53
Tabela 3 - Composição dos sedimentos – Percentual de CaCO <sub>3</sub> , segundo classificação de Larssonneur (1977). .....	56
Tabela 4 - Modelo da planilha gerada contendo os dados para posterior processamento. ....	59
Tabela 5 - Dados para cálculo do volume da jazida. ....	162

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo Geral

Definir áreas com concentrações de granulados litoclásticos marinhos em quantidade e qualidade passíveis de exploração, que estejam inseridas nas especificações técnicas necessárias para uso na regeneração de praias, estabelecendo a estimativa de suas reservas e características mineralógicas, através da aplicação de métodos de prospecção direta e indireta.

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantamento e análise de dados sedimentológicos com caracterização da faciologia de fundo, determinação da natureza granulométrica da textura e identificação da composição mineralógica, incluindo a definição dos teores totais (percentual) de  $\text{CaCO}_3$  nas amostras;
- Realização estudos de dados de Sensoriamento Remoto, através de análises de imagens de satélite, para obtenção de informações que caracterizem regionalmente o fundo marinho, visando evidenciar a existência de possíveis bancos de areia;
- Realização de levantamento Batimétrico, determinando com detalhe a morfologia de fundo marinho costeiro através da elaboração de Modelos Digitais de Terreno (MDTs);
- Levantamento sonográfico através da utilização do equipamento *Side Scan Sonar* (Sonar de Varredura Lateral) para identificação em detalhe, de feições expressivas do relevo do substrato consolidado e inconsolidado, balizando a distribuição superficial dos bancos litoclásticos e rochosos, a partir de variações de texturas dos padrões morfológicos observados;
- Elaboração de mapas temáticos a partir do levantamento dos dados sedimentológicos e batimétricos.



- Identificação de possíveis áreas de jazidas de areias destinadas a regenerar praias, com estimativa da Reserva Inferida.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE

O litoral pernambucano é caracterizado por apresentar praias de águas quentes e bastante atrativas do ponto de vista turístico da região, sobretudo as localizadas ao sul do Estado. Em geral, observa-se nessas áreas a instalação de grandes aglomerados urbanos com um rápido e crescente adensamento populacional, ao longo dos últimos anos, o que vem interferindo sobremaneira na dinâmica costeira desse ambiente, causando sérios problemas ambientais, devido à aceleração do processo de erosão costeira naturalmente existente.

A fim de solucionar a problemática da erosão costeira no estado, iniciou-se a busca e o estudo de bancos de areia, localizados na plataforma interna, e potencialmente capazes de serem utilizados para regeneração de praias degradadas.

O conhecimento contemporâneo acerca da sedimentação do fundo marinho, aliado às modernas ferramentas de pesquisa, permite identificar com precisão jazidas de areias que servem como fonte deste recurso mineral alternativo, disponível para mitigação de problemas ambientais relacionados à erosão de regiões litorâneas, decorrentes de processos naturais e/ou exacerbados pela ação antrópica, tal como se verifica em diversas áreas costeiras do Estado de Pernambuco.

Procura-se neste trabalho comprovar que a sedimentação siliciclástica na plataforma continental da área de estudo é suficiente em quantidade e qualidade para tornar viável sua exploração, objetivando o fornecimento de matéria-prima para o engordamento das praias vizinhas à área de pesquisa de forma a minimizar os problemas relacionados à pronunciada erosão instalada ao longo desta região costeira. Vale salientar que a extração da areia, não ensejará danos ambientais aos ecossistemas costeiros.

Dentro do contexto da problemática da erosão costeira é de fundamental importância a localização, qualificação e quantificação de reservas de materiais litoclásticos marinhos, ou seja, areias e cascalhos, originados do continente, depositados na plataforma continental e retrabalhados pela ação conjunta das ondas e correntes marinhas, garantindo assim, material adequado para futuras recuperações de áreas litorâneas. O trabalho em tela configura um avanço no conhecimento das características morfológicas, sedimentológicas e mineralógicas do fundo plataformal costeiro, bem como na identificação e quantificação de corpos arenosos

que servirão como material mineral de empréstimo para regeneração das praias vizinhas mais atingidas pelos efeitos erosivos.

Ao término deste trabalho espera-se conseguir balizar bancos de areias com quantidade e qualidade adequadas para servir de material de empréstimo visando à regeneração de praias da costa pernambucana que se encontram danificadas pela erosão costeira induzida pela atividade humana.

## CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área de pesquisa abrange duas áreas estabelecidas X e Y posicionadas no domínio ambiental marinho, próximas à costa Pernambucana, nordeste do Brasil (Figura 2.1), adjacentes respectivamente aos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca.

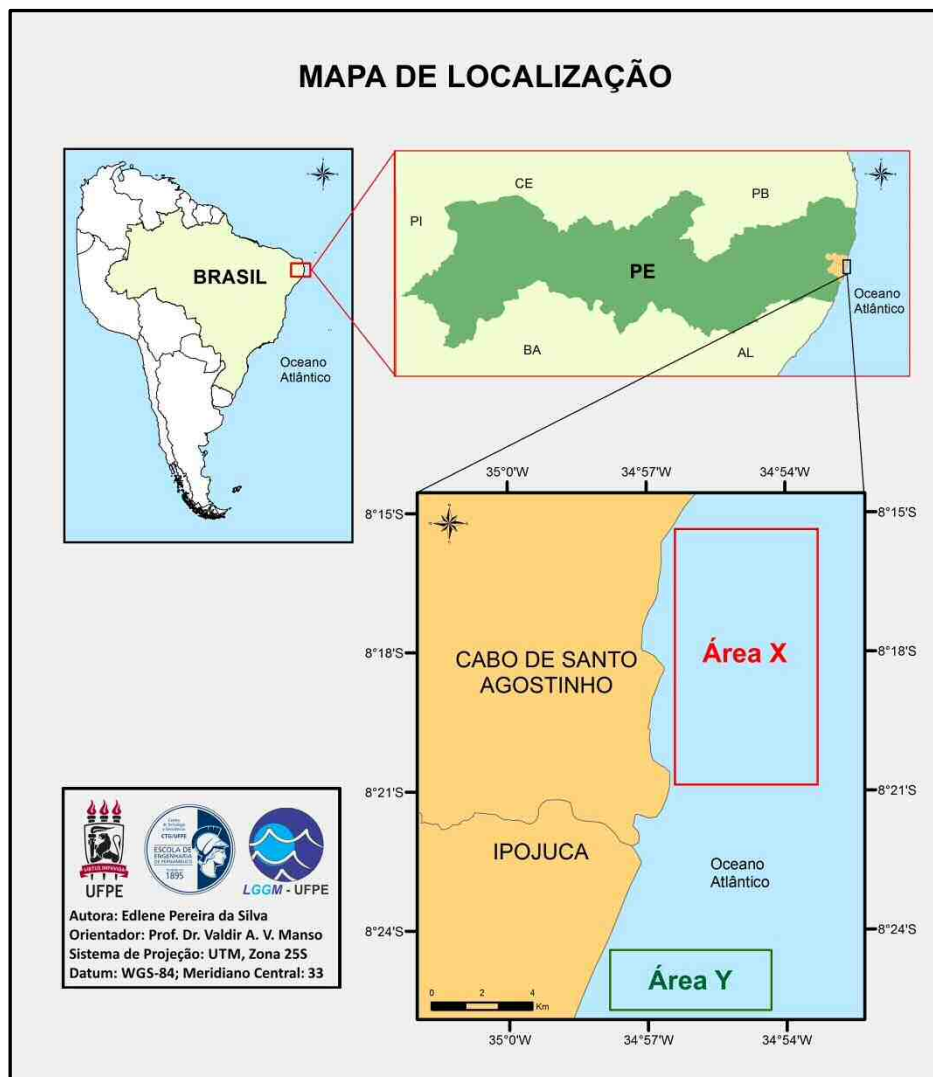


Figura 2.1 – Localização das áreas de estudo posicionadas adjacentes à costa de Pernambuco - Brasil.

As duas áreas apresentam um formato poligonal e juntas ocupam um total de aproximadamente 73 km<sup>2</sup>. A área poligonal “X” compreende uma superfície de 55 km<sup>2</sup> (~82%), estando localizada entre as coordenadas UTM 9887621N a 9076655N e 286504E a 291502E. Já a poligonal “Y” ocupa uma área de 12 km<sup>2</sup> (~18%) encontrando-se localizada entre as coordenadas UTM 9069940 – 9067940N e 284016 – 290016E.

## 2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

As áreas de estudo fazem parte da Bacia Pernambuco, uma faixa sedimentar costeira que se estende desde a Zona de Cisalhamentos Pernambuco – ZCPE (Neves *et al.*, 2006) até o Alto de Maragogi – Barreiros (Figura 2.2), segundo a concepção estratigráfica de Lima Filho (1998). Tal percepção foi inicialmente ventilada por Asmus & Carvalho (1978), Rand (1967 e 1976), Mabesoone & Alheiros (1991).

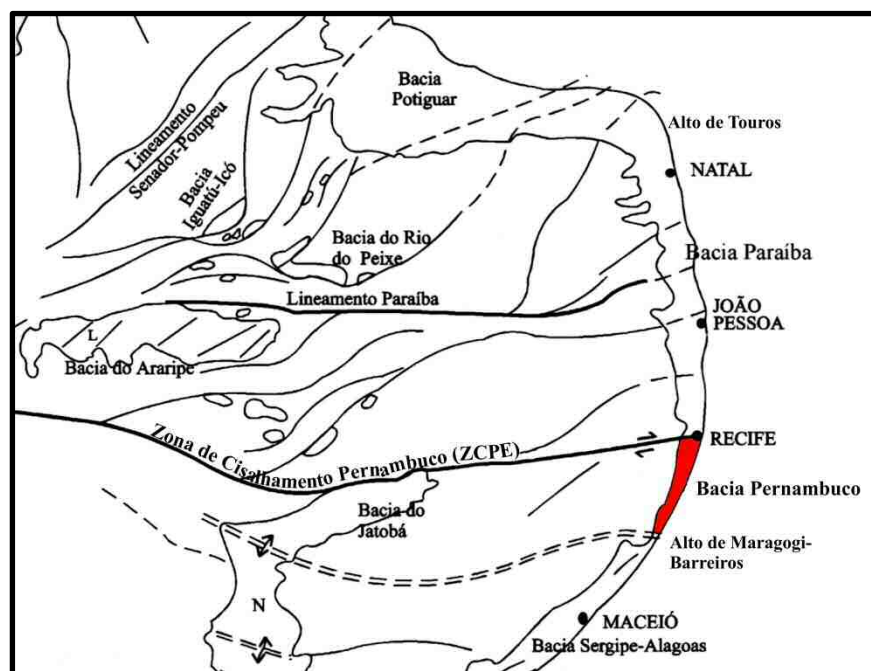


Figura 2.2 - Localização da Bacia Pernambuco, em destaque (Modificado de Lima Filho, 1998).

A Bacia Pernambuco está contida nos limites no estado homônimo, a qual se encontra posicionada a leste da margem continental Nordeste do Brasil abrangendo um trecho da costa emerso e outro submerso. A porção emersa tem formato alongado, de direção N40E, ocupando uma área de aproximadamente 900 km<sup>2</sup> (80 km de extensão e 12 km de largura).

Nos registros bibliográficos anteriores (Bizzi *et al.*, 2003), era considerada junto a atual Bacia Paraíba compondo a antiga Bacia Pernambuco-Paraíba, com a parte submersa

estendendo-se do *graben* do Cupe para a costa leste oriental ocupando 30.000 km na sua porção submersa (Figura 2.3) e formando a bacia mais setentrional da Costa Leste do Brasil.

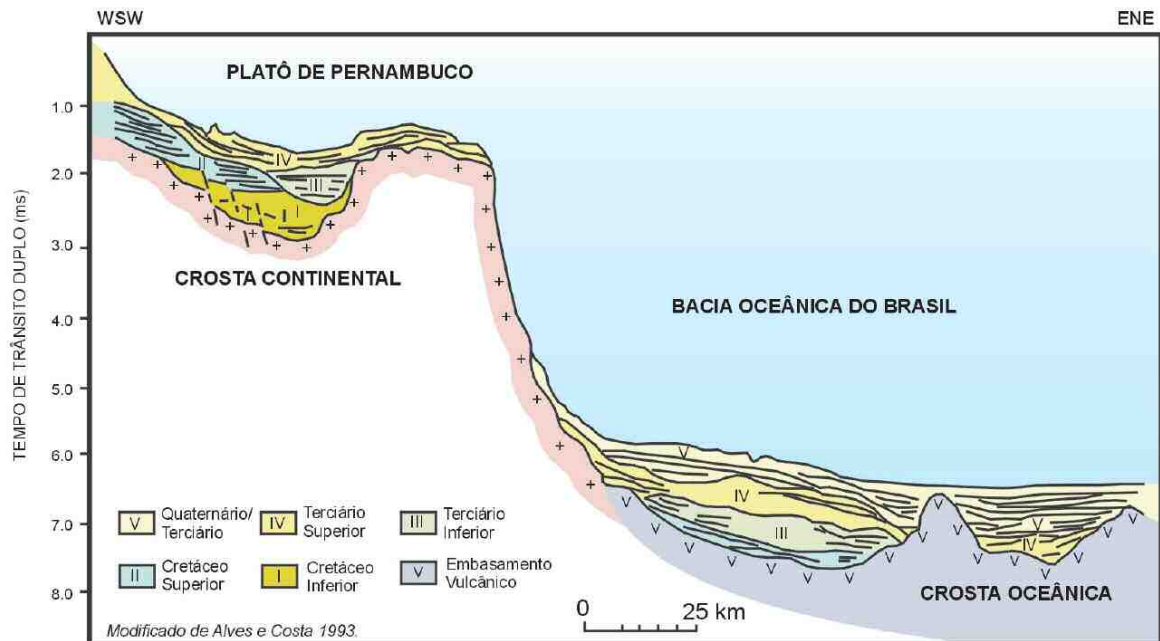


Figura 2.3 - Seção geológica esquemática na Bacia Pernambuco (parte marinha), mostrando o arcabouço estrutural e estratigráfico das sequências *sin-rifte* e *pós-rifte* (Fonte: Bizzi *et al.*, 2003).

A maior profundidade *onshore* calculada por estudos geofísicos (Rand, 1976, 1978 e 1986) e posteriormente comprovada pela PETROBRAS situa-se num depocentro localizado na região do Cupe, onde foi perfurado o poço (2-CPE-1-PE), o qual atravessou 3.000m de rochas sedimentares e vulcânicas Eocretáceas, sem atingir o embasamento (Feijó, 1994).

É uma das bacias marginais brasileiras de idade Mesozóica e tem sua formação atribuída à separação dos continentes Sul-Americano e Africano, resultando na instauração do Oceano Atlântico, segundo informações baseadas em dados paleogeográficos, paleontológicos, estratigráficos e geofísicos (Beurlen, 1962; Premoli Silva & Boersma, 1977; Scheibnerová, 1981; Rand, 1976, 1978, 1985; Rand & Mabeoone, 1982; Dias Brito, 1985a, 1985b, 1987, 1995, 2000; Viana, 1998; Françolin & Szatmari, 1987).

Segundo Lima Filho (1998), esses esforços foram complexos e ocasionaram *rifteamento*, abertura, formação de zonas de falhas, *grabens* com o subsequente preenchimento sedimentar dos mesmos, ao longo da evolução da bacia. Sua sequência sedimentar registra que passou por diferentes estágios de preenchimento, com importante ocorrência de vulcanismo (Nascimento *et al.*, 2004) ao longo de sua formação.

### 2.2.1 Unidades Litoestratigráficas

As áreas X e Y estudadas estão posicionadas *offshore* na superfície de uma região de plataforma interna e devido à proximidade da costa, são formadas principalmente de material erodido no continente, transportado pelos rios e depositado na plataforma. Além deste material alóctone de fontes continentais se faz presente material biodetrítico de origem marinha, misturados em proporções diversas, em função do relevo de fundo marinho e da dinâmica costeira.

Assim, o material detrítico superficial encontrado nas áreas de estudo é proveniente de fragmentos originados das diversas sequências litoestratigráficas encontradas no continente. As unidades rochosas foram estudadas por Lima Filho (2008) que elaborou um modelo de carta estratigráfica para a Bacia Pernambuco considerando todas as unidades litoestratigráficas que a compõem (Figura 2.4). Nela encontram-se as sequências deposicionais descritas a seguir:

- **Formação Cabo (CAB):** designa a primeira sequência sedimentar depositada na bacia no Eoaptiano, sob a forma de leques terrígenos, passando a arenitos arcoseanos com folhelhos escuros de origem lacustre.
- **Suíte Vulcânica de Ipojuca (IPO):** É representada por riolitos (~120 Ma), traquitos, basaltos (~87 Ma) e pelo granito do Cabo de Santo Agostinho (102 a 105 Ma), que ocorreram concomitantemente ao período de condições continentais da bacia. Além destes, depósitos piroclásticos, ignimbritos e depósitos de fluxos piroclásticos fazem parte das vulcânicas de Ipojuca (Nascimento *et al*, 2004).
- **Formação Estiva (EST):** Reúne os carbonatos sobrepostos à formação Cabo, indicando a ocorrência das primeiras ingressões marinhas no extremo sul da bacia (partes mais baixas), os quais se intercalavam aos sedimentos superiores da Formação Cabo, na plataforma. Essas ingressões ocorreram em três ciclos: o primeiro de idade Albiana e o segundo e terceiro de idade Cenomaniano até Santoniana.
- **Formação Algodois (ALG):** Conglomerados a arenitos conglomeráticos pós-vulcânicos (Coniaciano-Terciário) com tufos de seixos e rochas vulcânicas dispersos numa matriz arcoseana grossa, depositados em ambiente de leques aluviais continentais, resultante do tectonismo.

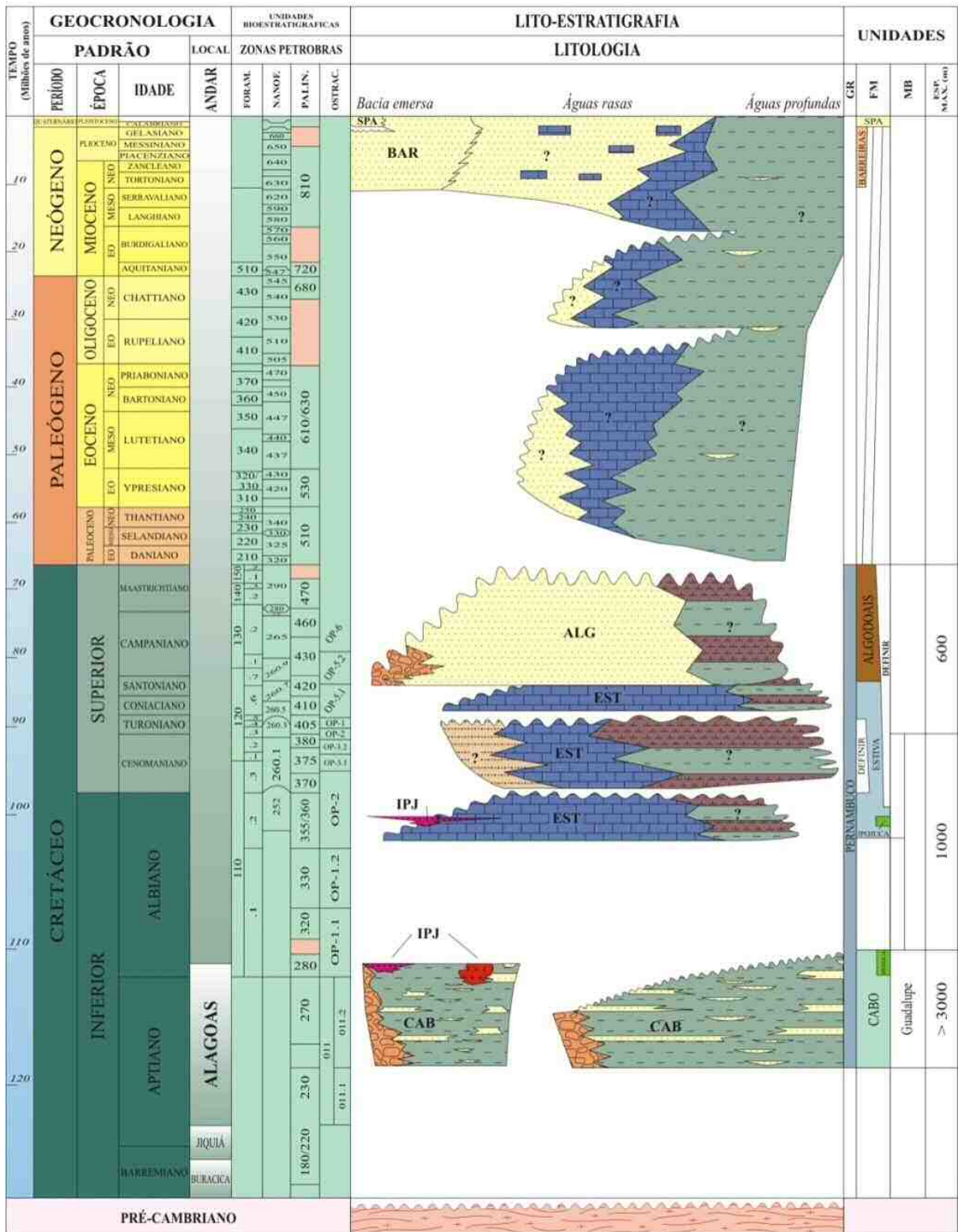


Figura 2.4 - Coluna Litoestratigráfica da Bacia Pernambuco (FONTE: LAGESE, 2003).

**Formação Barreiras (BAR):** A Formação Barreiras é constituída por sedimentos pouco consolidados, conglomeráticos a grossos, esbranquiçados, bastante argilosos, com níveis de óxido de ferro e estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas. Essa unidade é

caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e de fácies transicionais para leques aluviais (Alheiros *et al.*, 1989). A ausência de fósseis no Grupo Barreiras leva à incerteza quanto a sua idade, com isso, alguns autores a consideram como do Terciário Médio ao Pleistoceno, Oligoceno a Pleistoceno (Mabesoone *et al.*, 1972) ou Plioceno Inferior a Superior (Suguio *et al.*, 1986).

- **Depósitos Quaternários (Neógenos) Indivisos:** são constituídos por sedimentos diversos: Terraços Marinheiros Pleistocênicos, materiais terrígenos (areias, silte, argilas, conglomerados, recifes de arenitos, de coral e de algas calcárias, depósitos de praias atuais e paleodunas), sedimentos turfáceos de ambiente flúvio-lacustre e sedimentos de manguezais, correspondendo às sequências aluvionares e/ou elúvio/coluvionares.

### 2.2.2 Aspectos Geológico-Estruturais

A Bacia Pernambuco foi formada durante o Mesozóico com a separação das placas africana e sul-americana. Estruturalmente essa bacia apresenta um complexo sistema de falhas de gravidade (Lima Filho *et al.*, 2005) com a ocorrência de um espesso preenchimento sedimentar de grabens profundos (Figura 2.5).

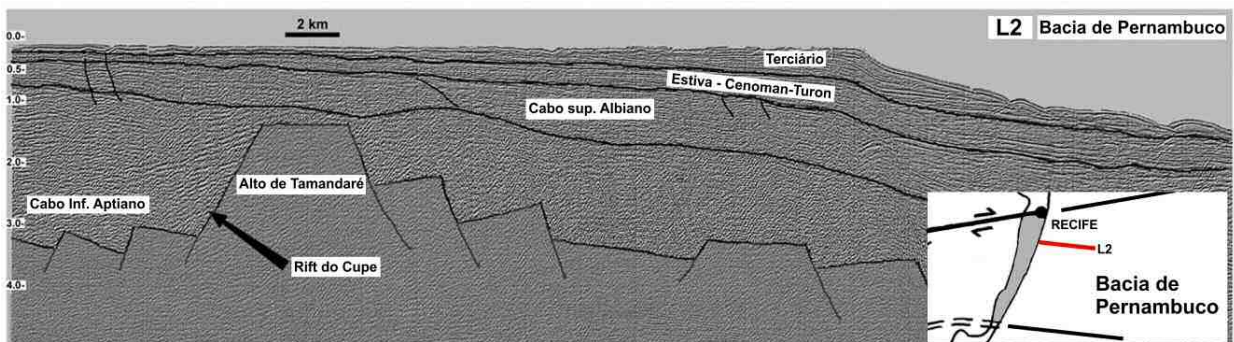


Figura 2.5 - Perfil sísmico transversal da zona submersa da Bacia Pernambuco (Fonte: LAGESE, 2003).

Os principais *trends* de falhas e fraturas apresentam direções preferenciais NW-SE e NE-SW (Figura 2.6). As primeiras são atribuídas a esforço distensivo NW-SE, ocorrido na fase *rifte*, por ocasião da abertura do Atlântico Sul, que geraram falhas de transferência (NW-SE) e falhas normais (NE) (Lima Filho *et al.*, 2005 e Almeida *et al.*, 2005a/b). Essa tendência também é observada se estendendo para a região *offshore* da Bacia Pernambuco nos estudos geofísicos (magnéticos e gravimétricos) realizados por Silva (2008) e esse fato influencia diretamente a deposição dos sedimentos em toda a bacia.



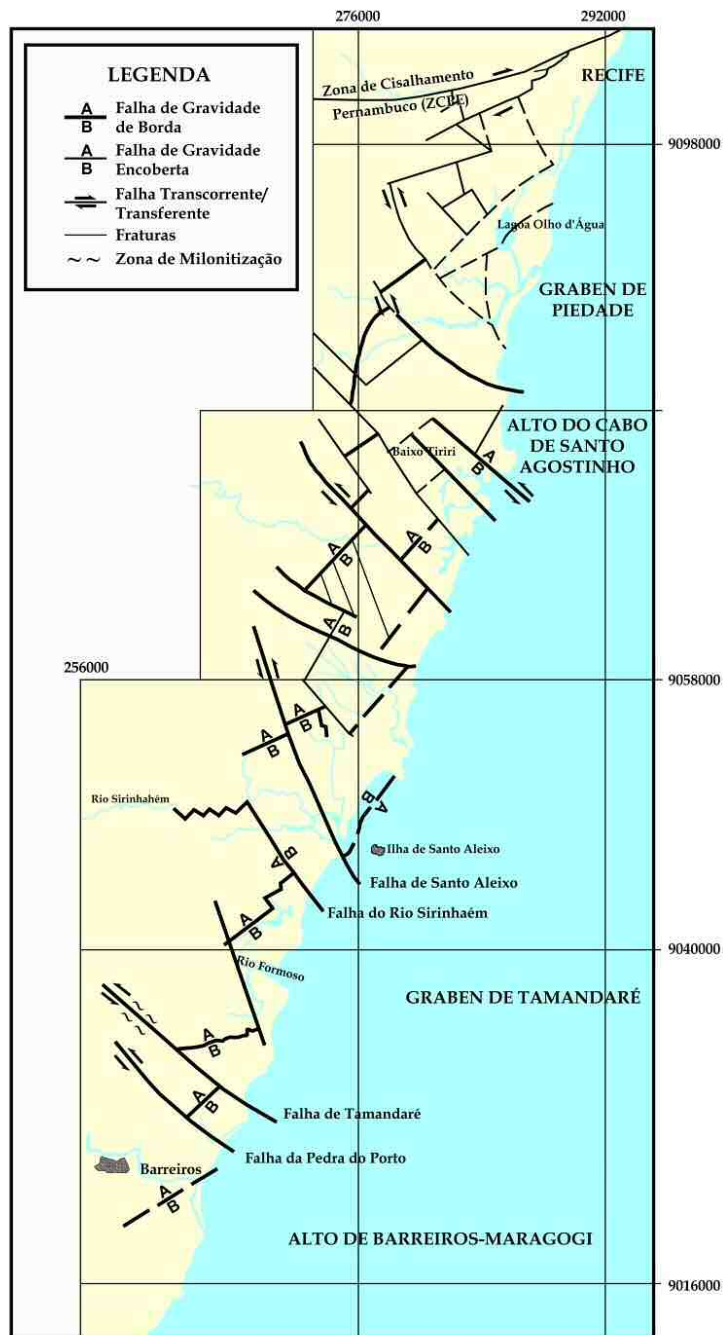


Figura 2.6 - Principais falhas e estruturas da Bacia Pernambuco  
(Fonte: Lima Filho *et al*, 2005).

### 2.3 MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

As Margens Continentais são as regiões fisiográficas inseridas na zona transição entre o continente e a bacia oceânica. Ocupam cerca de 20% da superfície encoberta pelo oceano (Kennett, 1982) e apresentam grande importância econômica devido concentrarem cerca de 90% do potencial econômico marinho.

A margem continental brasileira é classificada como do tipo “Atlântica”, “passiva” ou ainda “divergente” e apresenta-se dividida em três principais províncias bem desenvolvidas: plataforma, talude e sopé (Figura 2.7). Estas são definidas principalmente em função de variações do gradiente batimétrico.

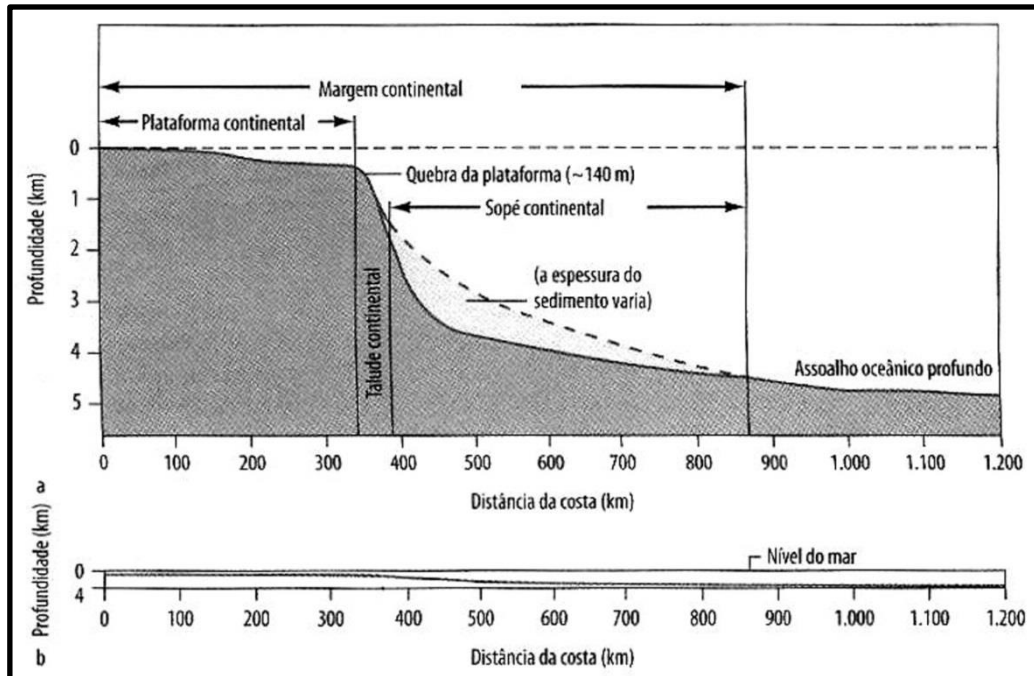


Figura 2.7 - Características de uma margem Continental Passiva. (a) Exagero na escala Vertical 50:1. (b) Nenhum exagero. Fonte: Garrison, 2010.

### 2.3.1 Plataforma Continental

Plataforma continental é a região da margem continental que apresenta declínio suave, compreendida entre a linha de preamar e o início do talude continental (Michelli, 2002).

As plataformas continentais atuais apresentam características fisiográficas e sedimentológicas em função da evolução da região costeira adjacente, e estas sofrem influências das oscilações do nível do mar (Camargo, 2005 e 2007). O clima no continente é outro fator a exercer grande influência sobre a tipologia dos sedimentos da plataforma continental (Coutinho, 1995).

As águas que recobrem a superfície da plataforma continental apresentam temperaturas variando entre 27,0 e 28,7°C, enquanto os valores de salinidade máximos alcançam 37,16‰ em períodos secos, e mínimos no período chuvoso chegando a 28,8‰ (Muehe 2006). Próximo à costa, tanto os valores de salinidade como da temperatura apresentam flutuações devido à influência do aporte dos rios costeiros.

### 2.3.2 Plataforma Continental do Nordeste

O Nordeste do Brasil apresenta plataformas continentais estreitas, com largura média de 30 km, caracterizadas por ter sedimentação predominantemente carbonática e serem do tipo autóctone, ou seja, plataforma que recebem sedimentos praticamente do retrabalhamento *in situ* de depósitos pretéritos (reliquias) (Vital *et al*, 2005 in: Souza *et al*, 2005).

Fundamentado na morfologia e distribuição dos sedimentos na plataforma, Coutinho (1976) propôs uma divisão da plataforma continental do Nordeste, classificando-a em função da profundidade em três grupos.

- Plataforma interna - região que abrange desde a linha de costa até a isóbata de 20m, caracterizada por geralmente apresentar relevo suave com algumas irregularidades, atribuídas à presença de canais, bancos arenosos e recifes de arenito, que funcionam como substrato aonde se desenvolvem associações algálicas e coralígenas. Nela predominam sedimentação composta por de areias terrígenas quartzosas com granulação média à grossa, associada com material biodetrítico, o qual acresce com a profundidade. Entre a praia e os recifes registram-se muito pouco cascalho e trechos com sedimentação pelítica, comumente ocupando depressões do substrato. O teor de carbonato de cálcio nos sedimentos costuma ser menor que a 25% e se verifica as associações carbonáticas de algas coralinas ramificadas e incrustantes, *Halimeda* e moluscos com ou sem foraminíferos bentônicos. A alta energia do ambiente promove elevado retrabalhamento nos componentes bióticos.
- Plataforma média - corresponde ao trecho compreendido entre 20 e 40 m de profundidade, exibindo morfologia de fundo bem mais irregular, caracterizado por presença de canais e paleovales, formados por dissecação da plataforma diante de exposições pretéritas. A sedimentação é predominantemente carbonática representados por areias e cascalhos constituídos por associações carbonáticas de algas coralinas *Halimeda*, moluscos, briozoários e foraminíferos, sem indícios de retrabalhamento.
- Plataforma externa – compreende toda região acima da isóbata de 40 m de profundidade, recobertas com cascalho de algas, areias biodetríticas e lama cinza azulada. Apresenta elevado teor de carbonato de cálcio (maior que 75%), com profusão das algas *Halimedas* e alto índice de retrabalhamento das associações carbonáticas, evidenciando o caráter reliquia dos sedimentos.

Com exceções as áreas em frente à foz dos grandes rios, as concentrações de material em suspensão nas águas da plataforma do nordeste são consideradas muito baixas, da ordem de menos de 0.5 mg/l, mesmo próximo à costa (Manso *et al*, 2006).

### 2.3.3 Plataforma Continental de Pernambuco

#### I. Características da Plataforma

O estado de Pernambuco em particular apresenta uma plataforma continental alongada e estreita, com largura em torno de 30 km ao sul e de 40 km para norte (Ferreira Junior *et al.*, 2007 e CPRH, 2012) sendo esta formada por um relevo em declividades suaves (média de 1:660), com quebra da plataforma em torno de 60 m de profundidade (Araújo *et al.* 2004). Segundo Manso *et al* (2003), a pouca profundidade é ocasionada pela ineficiência dos processos marinhos nos últimos períodos geológicos e a reduzida largura pode ser resultante de fatores estruturais atuantes na área juntamente com o baixo índice de erosão continental e a pequena taxa de sedimentação marinha na plataforma. Esses autores citam ainda a atuação da Corrente do Brasil como possível explicação do modesto desenvolvimento da plataforma.

#### II. Características da Sedimentação

Basicamente a sedimentação da plataforma continental de Pernambuco é composta por areias e cascalhos formados a partir de artículos, fragmentos e restos de organismos de algas coralinas, ressaltando-se as areias quartzosas, passíveis de uso para o engordamento de praias vizinhas atingidas por processos erosivos (Barros *et al*, 2007; Barros *et al*, 2008). É também descrita como recoberta por areia terrígena, com muito pouco cascalho e lama, apresentando ainda os componentes bióticos muito re trabalhados e baixo teor de carbonato de cálcio (Ferreira Junior *et al*, 2007).

Diversos estudos consideram feições como a presença de paleocanais e de arenitos de praia (*beachrocks*) como indicadores geológicos de níveis do mar mais baixo que o atual (Araújo *et al.*, 2004; França, 1976; Guerra e Manso, 2004; Laborel, 1969; Hopley, 1986; Michelli *et al*, 2001). Em estudos de detalhe desenvolvidos ao sul da plataforma continental de Pernambuco, Michelli (2002) e Camargo (2005) também reconheceram essas feições como indicadoras de níveis de estabilização do mar, através de métodos geofísicos de investigação.

### III. Condições oceanográficas:

No Estado de Pernambuco, as marés são monitoradas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil) através de cinco estações maregráficas posicionadas em Itapessoca, na Ilha de Itamaracá, em Tamandaré e nas regiões portuárias de Recife e de Suape. Registro de dados das marés ocorrentes, relativas a diferentes períodos são disponibilizados através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Fundação de Estudos do Mar – (FEMAR).

As marés do litoral Pernambucano são do tipo mesomaré, segundo a classificação de amplitude proposta por Hayes (1979), dominada por ondas e associadas à ação constante dos ventos alísios quase permanentes, com direção E-SE (Assis, 2007). Elas estão inseridas na categoria semi-diurnas (Manso, 2003 e BNDO / FEMAR) e apresentam período médio de 12,42 h distribuídos em duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar, com variações de amplitude: para a maré de quadratura 0,7 m, para a maré intermediária 1,1 m e para as marés de sizígia máxima e mínima respectivamente 2,4 m e 2,1 m (Manso *et al*, 1995).

A respeito do regime de ondas destaca-se que o sistema de ondas oceânicas, geradas a partir da expressiva incidência de ventos sobre as águas, desempenha um papel importante no transporte de sedimentos à praia (Manso *et al*, 2006).

Segundo medidas de ondas efetuadas no Porto de Suape, de março/1977 a fevereiro/1978 e de janeiro/1979 a janeiro/1984, constata-se que há uma predominância de propagação perpendicular das ondas à praia, na primavera, verão e outono. Entretanto, ocorre uma leve tendência no outono e na primavera no sentido S-N, com alturas das ondas atingindo em torno de 1,0 m; no verão assumem a direção N-S com ondas oscilando entre 0,85 e 1,0 m; e nas condições de inverno predomina a direção S-N, com a altura das ondas alcançando em torno de 1,25 m, os maiores valores anuais. Os períodos obtidos para as ondas no outono, inverno e primavera, ficam em torno de 6,5 s e no verão, 5,0 s. A altura significativa média anual na área já referida atinge 1,11 m e período médio da ordem de 6,28 s (Manso *et al* 2003).

Segundo Manso *et al* (2003) e Manso *et al* (2006), os sistemas de correntes são formado pelas correntes de marés, fluviais e litorâneas e afetam a sedimentação e consequentemente a morfologia costeira. Dentre os poucos trabalhos existentes sobre velocidades de correntes cita-se o levantamento efetuado em 1992 na região do Porto de Suape, onde foi constatada velocidade máxima de corrente de 0,50 m/s na área externa dos

“*beachrocks*”. Considerando que as condições hidrodinâmicas provavelmente se mantêm constante devido à proximidade das áreas estudadas, admitem-se padrões de velocidade de corrente da ordem de 0,4 a 0,6 m/s (Manso *et al*, 2006).

#### 2.3.4 Caracterização da Área de Estudo

As áreas de estudo se inserem no contexto geomorfológico da plataforma continental interna de Pernambuco, adjacentes aos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca. Apresentam relevo suave, caracterizado por regiões de plataforma rasa formada por uma morfologia de fundo suave na área Y e mais diversificado na área X, conforme detalhado adiante, no Capítulo 4.

Nas duas áreas examinadas (X e Y) é observado que estas se apresentam mais aprofundadas em direção ao lado oriental, seguindo a tendência regional natural de declividade de plataformas continentais (da Costa Leste do Brasil) em função do aumento da profundidade no sentido da Bacia Oceânica.

Considerando-se a influência dos derrames vulcânicos na adjacente praia de Pedra do Xaréu ou Ponta da Pedra Preta (Assunção *et al*, 2012), constata-se na área X a presença de rochas vulcânicas submersas (traquito), as quais afloram em períodos de baixa-mar, o que está em acordo com a proposição de continuidade de atividades vulcânicas no continente estendendo-se como ‘altos fundos’ mar adentro, na região proximal (Coutinho, 1995).

Os principais agentes de transporte na zona imersa são as ondas e as correntes, verificando-se os processos hidrodinâmicos que ocorrem na região, tais como a dinâmica das correntes, a incidência das ondas e o transporte sedimentar é influenciada pela morfologia de fundo na área estudada (CPRH, 2012).

Com relação aos tipos de sedimentação encontrada na plataforma continental, esta sofre influencia do clima do continente (Coutinho, 1995). As principais características das áreas exploradas são: apresenta elevada salinidade, temperatura das águas relativamente quentes, e cobertura sedimentar inconsolidada, composta por sedimentos carbonáticos biogênicos e sedimentos siliciclásticos, em sua maioria reliquias.

## CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos aqui apresentados envolvem basicamente levantamentos bibliográficos iniciais de pesquisas anteriores das áreas em estudo. Em sequência foi realizado o desenvolvimento de métodos geológicos e geofísicos, de pesquisa tais como amostragem sedimentológica, análises de imagens de sensoriamento remoto, levantamentos de dados sísmicos, batimétricos e sonográficos. Foram ainda considerados os aspectos ambientais diante da exploração futura, como forma de garantir a preservação dos ecossistemas.

### 3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Marca a etapa inicial, composta por pesquisa em trabalhos, publicações, periódicos, antigos projetos, dissertações, teses, informes de páginas eletrônicas, imagens de satélite, banco de dados oceanográficos e mapas, incluindo cartas náuticas, dados batimétricos e folhas náuticas de bordo das áreas propostas.

Ressalta-se a aquisição de dados oceanográficos adquiridas a partir do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), das folhas de bordo e carta náutica cedidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN, 2004), além da aquisição de imagens de satélite do sensor orbital TM/LANDSAT 7, Órbita-ponto 214/066 de 29/05/2000, com composição colorida nas bandas 1, 2 e 3 adquiridas do portal eletrônico da *Global Land Cover Facility* da *Earth Science Data Interface*.

### 3.2 TRABALHOS DE CAMPO

#### 3.2.1 Amostragem sedimentológica

Na primeira etapa do trabalho de campo foi realizada a coleta de sedimentos de fundo das áreas pré-estabelecidas X e Y, utilizando um amostrador inox tipo *Van Veen* (Figura 3.1), obtendo um total de 92 amostras (71 na área X e 21 na área Y) em pontos georreferenciados formando malhas quadráticas regulares, com equidistância de 1 km (Figura 3.2).



Figura 3.1 - Amostrador em inox, tipo Van Veen - draga pontual de superfície.

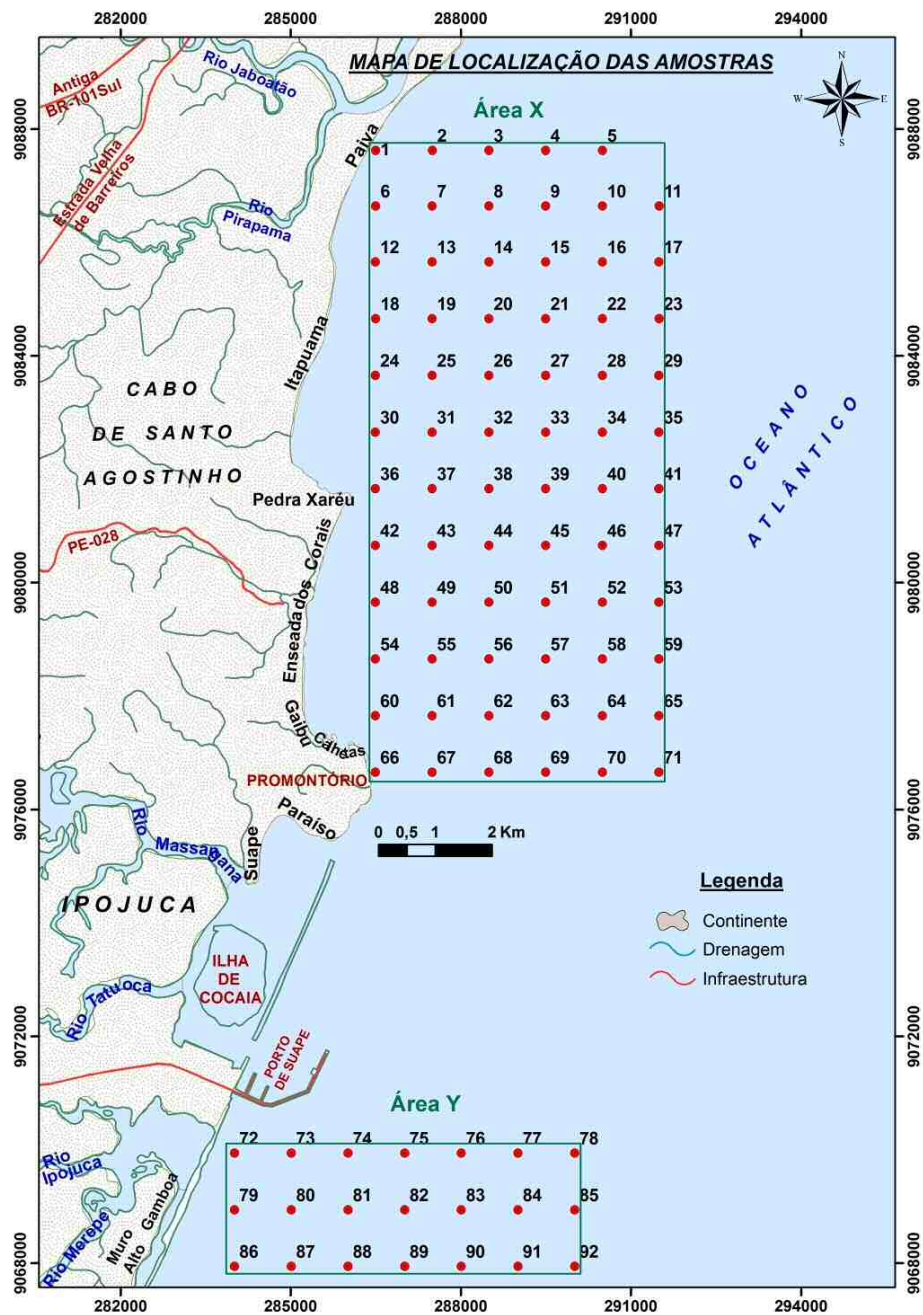


Figura 3.2 - Distribuição das amostras coletadas nas áreas X e Y.



### 3.2.2 Levantamento Sísmico

Na segunda etapa de campo, foi executado o levantamento de dados de Reflexão Sísmica de alta resolução, tendo basicamente a função de determinar a espessura e a geometria dos depósitos de areia anteriormente identificados em bibliografia. Esta primeira fase de levantamentos dos dados sísmicos foi realizada para reconhecimento das áreas. Para tanto foram contemplados apenas os trechos mais próximos do continente, praticamente no interior das duas áreas X e Y inicialmente programadas, sendo realizado o levantamento de perfis distribuídos em malhas não regulares, posicionados preferencialmente paralelos à linha de costa, conforme apresentado na Figura 3.3.

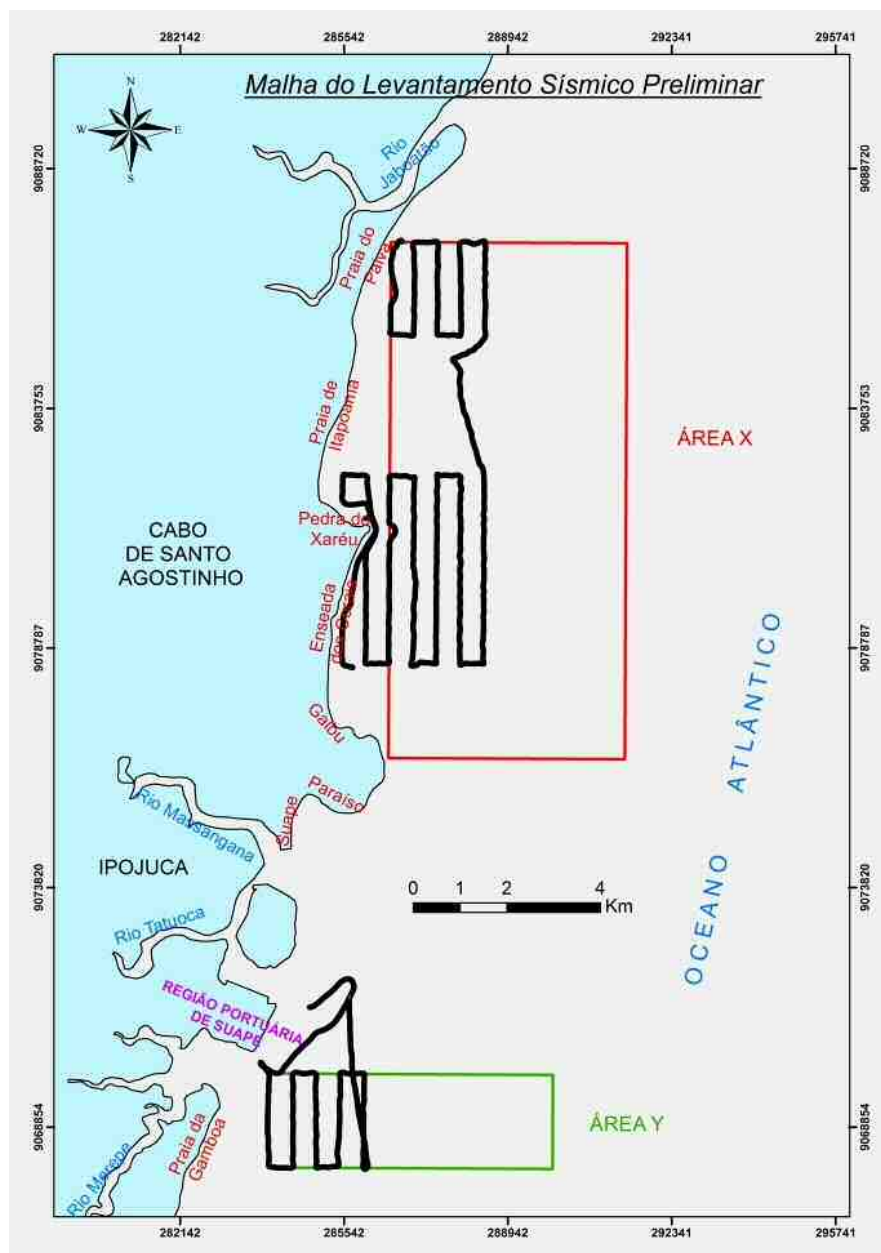


Figura 3.3 - Linhas de posicionamento do levantamento sísmico realizado nas áreas X e Y.

O espaçamento entre as linhas dos perfis em ambas as áreas foi de aproximadamente 600 metros, sendo perfiladas 11 linhas sísmicas na área X com diferentes extensões, num total de 18 km, e 6 linhas sísmicas na área Y, também apresentando comprimentos desiguais, com aproximadamente 10 km de extensão levantados. Juntas, essas áreas somaram uma extensão total de aproximadamente 28 km levantados.

Com este arranjo foi lograda a realização do reconhecimento das áreas, sendo utilizado para aquisição dos dados o equipamento de sísmica de reflexão SB-216S Sub-bottom Profiling System da *Edge Tech* (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Equipamento Sub-bottom profiler utilizado para aquisição dos dados sísmicos.

Para posicionamento geográfico em alto mar, foram utilizados o GPSmap 420s GARMIN (Figura 3.5), que proporcionou a orientação do barco ao longo de todo o percurso, e um GPS ETREX-GARMIN que funcionou acoplado ao computador de bordo, integrante do equipamento SB-216S Sub-bottom Profiling System (Figura 3.6).



Figura 3.5 - GPSmap 420s GARMIN utilizado para orientar a navegação durante a aquisição dos dados sísmicos.

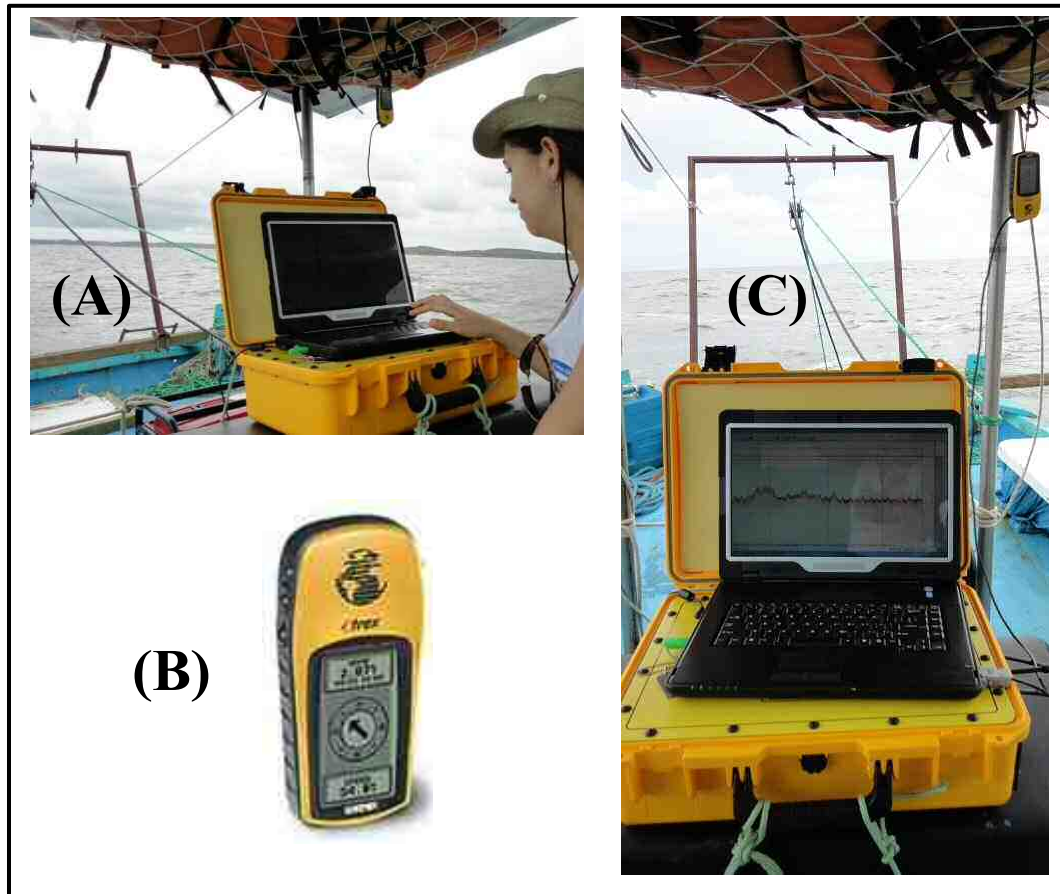


Figura 3.6 - Aquisição de dados Sísmicos (A); GPS ETREX-GARMIN utilizado para georreferenciamento (B); e GPS acoplado ao computador de bordo (C).

Para posicionamento dos equipamentos, o sistema utilizado para registro de posição foi o Universal Transverso de Mercator – UTM, utilizando o *Datum World Geodetic System* de 1984 – WGS-84.

Foram programadas inicialmente duas visitas ao campo para realização dos levantamentos sísmicos. Foi realizada apenas a primeira fase de aquisição de dados, uma vez que a segunda fase foi descartada em função dos resultados negativos obtidos na primeira.

Os primeiros resultados evidenciaram que o equipamento não ofereceu uma boa resposta qualitativa em relação à determinação da espessura do pacote de sedimentos contendo a fração arenosa, porquanto gerou perfis que não permitiram uma boa distinção dos horizontes sísmicos necessários à definição da profundidade. Ressalta-se, todavia, que este equipamento mostrou-se adequado para estudos de arranjos e visualizações de estruturas formadas em sedimentos de fundo com granulações menores (fração lamosa), que não constitui o objetivo da pesquisa.

### 3.2.3 Levantamento Batimétrico

A terceira etapa de campo foi voltada para a aquisição dos dados batimétricos, abrangendo as subáreas A e B selecionadas respectivamente no domínio das áreas X e Y iniciais do projeto (Figura 3.7).

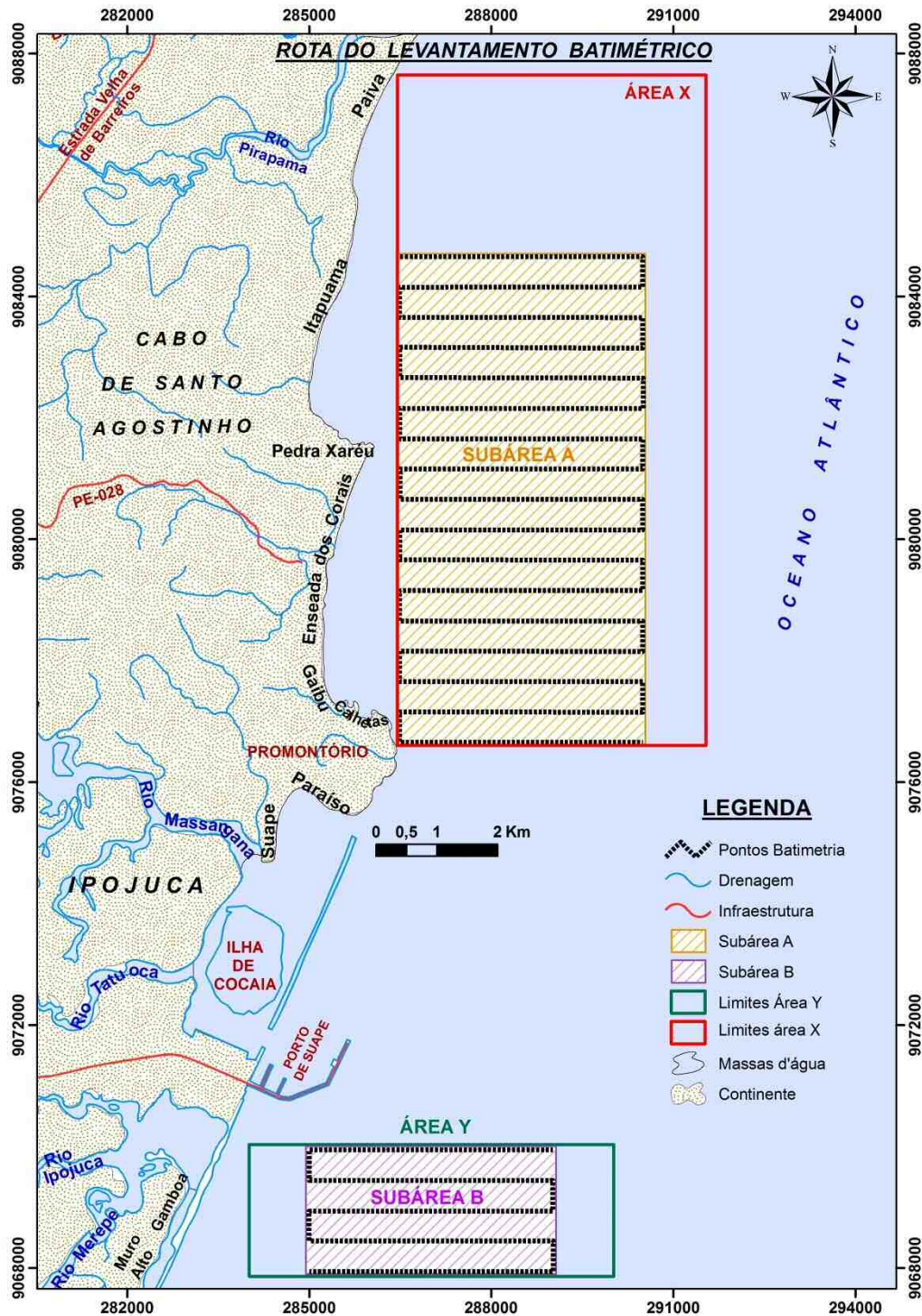


Figura 3.7 - Localização dos perfis batimétricos nas subáreas A e B, transversais à linha de costa das áreas pesquisadas.

Essas novas áreas-alvo de interesse foram determinadas a partir do resultado de integração dos dados obtidos nas imagens de satélite TM/LANDSAT 7 com os Mapas Sedimentológicos (Diâmetro Médio e Fície Textural) gerados, onde se levou em consideração a presença das granulações areia média e areia grossa, em função do objetivo desta pesquisa. Excluíram-se, portanto, áreas que nos mapas sedimentológicos apresentavam granulação areia fina, cascalho e/ou onde foi detectada presença de bancos coralígenos.

Esse levantamento abrangeu um total de aproximadamente 98 km percorridos, posicionados transversalmente à linha de costa, distribuído ao longo de 22 perfis, sendo 17 perfis dentro da área A e 05 perfis dentro da área B (Figura 3.7), com 500 metros de equidistância entre estes. Os perfis tem comprimento aproximado de 4 km cada e compõem duas malhas irregulares somando um total de 28.129 pontos adquiridos: 21.822 na área A e 6.307 na área B.

Os dados foram obtidos com equipamento instalado sobre uma bote inflável, pertencente ao Departamento de Oceanografia da UFPE (Figura 3.8).



Figura 3.8 - Trabalho de aquisição dos dados. À direita, detalhe do ecobatímetro utilizado.

Os perfis batimétricos foram adquiridos através da utilização de um *chartplotter* modelo GPSMAP 520s da GARMIN (detalhe da Figura 3.8 e Figura 3.10), com receptor diferencial de 12 canais paralelos e taxa de atualização contínua de 1/segundo. O equipamento é composto por uma sonda com transdutor de dupla frequência (50/200 kHz), amplitude de feixe entre 10 e 40 graus e profundidade máxima de operação de 457 metros, além de um sensor de temperatura da água. Foi utilizado também um GPS 72H da GARMIN (Figura 3.9) para auxílio na execução dos perfis, com pontos georreferenciados.



Figura 3.9 - GPS 72H da GARMIN.



Figura 3.10- Sonda chartplotter modelo GPSMAP 520s GARMIN.

O equipamento Chartplotter foi configurado para registrar os dados de posição no Sistema Universal Transverso de Mercator – UTM, utilizando como *Datum* o *World Geodetic System* de 1984 (WGS-84).

#### 3.2.4 Levantamento Sonográfico

Na quarta etapa de campo foram efetivadas as aquisições dos dados sonográficos com finalidade principal de observar a extensão lateral dos depósitos (areias siliciclásticas) e de suas características da distribuição da sedimentação de fundo, através da análise das diferentes texturas observadas ao longo assoalho marinho.

A área alvo de interesse para o levantamento sonográfico, denominada subárea alfa ( $\alpha$ ), corresponde a uma porção da subárea A onde se realizou o levantamento batimétrico e por sua vez está contida na área X (Figura 3.11). Essa área foi estabelecida em função dos resultados obtidos na integração de dados Sedimentológicos, Batimétricos, Análise de Imagem de Satélite e da Carta Náutica N.930 – “Brasil Costa Leste - Proximidades do Porto do Recife”, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2004).

Conforme planejamento, a malha amostral confeccionada constou de 24 linhas posicionadas subparalelas à linha de costa com espaçamento entre estas de 150 m, ocupando uma área de aproximadamente 17.991 km<sup>2</sup>, posicionada nas adjacências das Praias de Enseada dos Corais, Pedra do Xaréu e Itapuama, na costa do município do Cabo de Santo Agostinho (Figura 3.11).

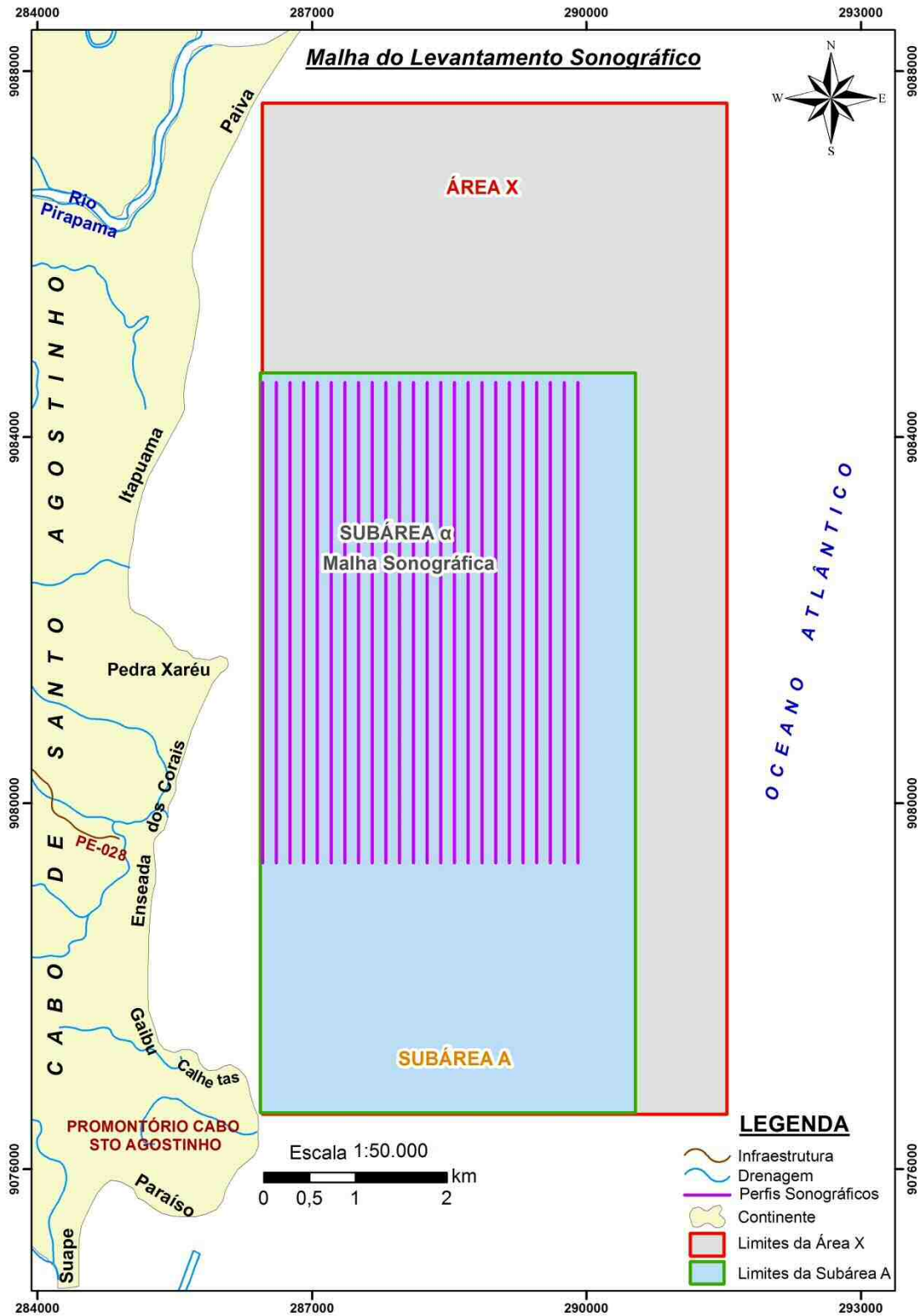


Figura 3.11 - Malha amostral de posicionamento dos perfis sonográficos, na subárea  $\alpha$ .

A coleta dos dados sonográficos foi realizada a bordo da embarcação “Oliveira II”, de pequeno porte e motorizada (Figura 3.12).



Figura 3.12 - Embarcação utilizada para coleta dos dados sonográficos.

O equipamento utilizado no levantamento dos dados foi o *Side Scan Sonar System* da marca Edge Tech, composto por um computador de bordo (Figuras 3.13 e 3.14), equipado com o *software Discovery 4100*, no qual são configurados os parâmetros para aquisição dos dados, mostrando a área imageada do substrato simultaneamente à varredura, além de um “torpedo ou peixe” *Towfish* Modelo 272-TD (Figura 3.15), responsável pela emissão e recepção do sinal acústico.



Figura 3.13 - À direita, computador utilizado para aquisição dos dados Sonográficos . À esquerda, notebook com os perfis planejados.



Figura 3.14 - Programação do Computador de bordo e do GPS acoplado para aquisição dos dados.





Figura 3.15 - Towfish “peixe ou torpedo”, Modelo 272-TD, da marca EdgeTech, usado para aquisição dos dados Sonográficos.

O “torpedo” *Towfish* é conectado por um cabo ao computador de bordo na embarcação, para onde transmite o sinal recebido (Figura 3.16), o qual é transformado através de *softwares* fornecendo imagens em tempo real que são armazenadas para posterior tratamento em laboratório.



Figura 3.16 - “Torpedo” Towfish sendo baixado na água, conectado por cabo ao computador de bordo na embarcação.

Para orientação do barco nas rotas de aquisição de dados foi utilizada a sonda Garmin GPSmap 420s GARMIN (Figura 3.18), configurada a bordo da embarcação com posicionamento estruturado em coordenadas UTM, *Datum World Geodetic System* de 1984 (WGS-84), e apresentando profundidades em metros. Utilizou-se ainda, sincronizado e acoplado ao computador de bordo, o GPS portátil marca Garmin modelo GPSmap 62S (Figuras 3.14 e 3.17), operando com o sistema supracitado, auxiliando no georreferenciamento do traçado das rotas realizadas.



Figura 3.17 - GPSmap 62s utilizado para posicionamento dos perfis.



Figura 3.18 - Sonda Garmin GPSmap 420s GARMIN utilizada para orientar o barco.

Após a coleta dos dados sonográficos, as imagens geradas a partir do *software Discovery 4100* foram armazenadas no *notebook* e no computador integrante do equipamento (Figura 3.13) para posterior tratamento em laboratório, filtrando ruídos decorrentes das aquisições dos dados.

### 3.3 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

O fluxograma apresentado abaixo (Figura 3.19) ilustra os tratamentos efetuados sobre as amostras de sedimentos coletadas, descrevendo desde os procedimentos iniciais de laboratório, passando pelos trabalhos de gabinete e chegando ao produto final (mapas, gráficos, tabelas), possibilitando a visualização da sequência de realização das análises granulométricas e mineralógicas dos sedimentos de fundo desenvolvidos nesta pesquisa

## Análises Sedimentológicas

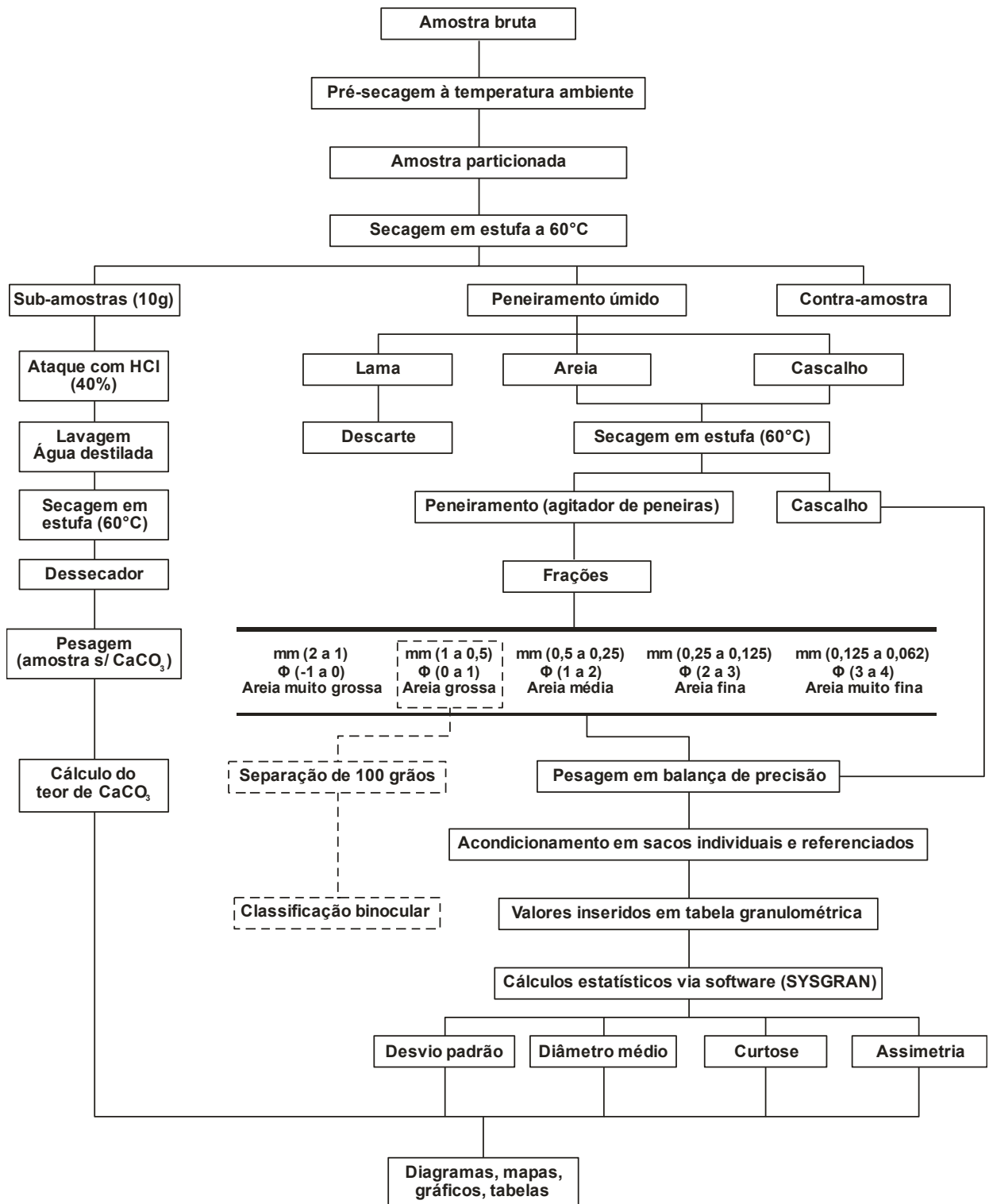


Figura 3.19 - Fluxograma dos métodos utilizados para realização das análises granulométricas e mineralógicas dos sedimentos de fundo.

### 3.3.1 Tratamento das Amostras Sedimentológicas

Após a coleta das amostras estas foram devidamente etiquetadas e recolhidas ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (DEGEO – UFPE) e, seguindo os procedimentos adotados no mesmo, iniciou-se a etapa de tratamento do material coletado para caracterizar as condições sedimentológicas das áreas pesquisadas.

Foram realizadas análises granulométricas dos sedimentos, a fim de realizar a separação dos grãos para compor mapas granulométricos, embasadas na metodologia de Suguio (1973). Inicialmente as amostras foram colocadas à secagem para retirar o excesso de água e depois foram levadas às estufas (Figura 3.20) a uma temperatura de 60 °C por 48 h.



Figura 3.20 - Estufas utilizadas no laboratório para secagem das amostras.

A seguir, para cada amostra, aplicou-se o tratamento individual no qual a amostra foi quarteada e tomou-se uma alíquota de 100 g para efetuar o peneiramento úmido, através do uso de um jogo de peneiras de 2 mm a 0,062 mm. Foram separadas as frações cascalho, areia e silte-argila (lama), sendo essa última descartada, juntamente com os sais solúveis (eliminados durante a lavagem), devido a estes não representarem interesse para a pesquisa. Separadamente, as frações areia e cascalho retornam à estufa para nova secagem a 60 ° C por aproximadamente 2 dias. Após o processo de secagem, a amostra foi novamente pesada obtendo as frações  $\geq 2\text{mm}$  (cascalho) e  $\leq 0,062\text{mm}$  (lama), registrando-se tudo na tabela de análise granulométrica (Tabela 1) adotada no LGGM. Em seguida, a amostra é levada ao equipamento *rotap* (Figura 3.21) durante 10 minutos, para ser feita a separação dos grãos a seco, obtendo-se as granulações  $<1,0\text{mm}$ ;  $<0,5\text{mm}$ ;  $<0,25\text{mm}$ ;  $<0,125\text{mm}$ ;  $<0,062\text{mm}$ , as

quais foram individualmente pesadas, obtendo-se os valores correspondentes às escalas granulométricas.

Tabela 1 - Registro da fração dos grãos para cada amostra (segundo classificação de Udden-Wentworth, 1922).

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA			
Identificação da Amostra			
Local:		Data:	
Coordenadas:		Coletor:	
N.º da Amostra:		Tipo de Sedimento:	
Peneiramento Úmido			
Peso Seco	$\geq 2$ mm	$< 2$ mm e $\geq 0,062$ mm	$< 0,062$ mm
Peneiramento no Rotap			
Sedimento	Valor $\phi$	Diâmetro (mm)	Peso (g)
Areia muito grossa	0	1,000	
Areia grossa	1	0,500	
Areia média	2	0,250	
Areia fina	3	0,125	
Areia muito fina	4	0,062	



Figura 3.21 - Conjunto de rotaps com peneiras utilizadas para separação dos grãos secos.

A utilização destas escalas granulométricas permitiu a determinação dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria e curtose), obtidos segundo a fórmula de Folk & Ward (1957) e também se identificou as fácies texturais, segundo a classificação de Shepard (1954). Para processamento dos dados estatísticos foi utilizado o *softwares* SYSGRAN 3.0, adotado pelo LGGM (Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha) da UFPE.

### 3.3.2 Análise da natureza granulométrica dos sedimentos

#### - Distribuição de Parâmetros Estatísticos

A partir do tratamento estatístico dos dados da amostragem sedimentológica foram gerados mapas dos parâmetros, Média, Desvio Padrão, Assimetria, Curtose, e das Fácies Texturais, os quais possibilitaram obter o conhecimento da cobertura sedimentar de fundo das áreas X e Y de estudo, através da determinação da distribuição da natureza das diferentes características granulométricas.

Tomando-se como mapa base do levantamento da amostragem sedimentológica o apresentado na Figura 3.22, observa-se a distribuição das amostras nas duas áreas propostas e a partir da qual foram originados todos os demais mapas que apresentam a distribuição dos parâmetros estatísticos sedimentológicos acima citados.

Vale ressaltar que a classificação das frações granulométricas adotada para detalhamento da composição textural foi usada a escala de Phi ( $\phi$ ) e milímetro (mm) que é baseada nos intervalos da Escala Granulométrica de Udden-Wentworth (1922) apresentada no Anexo 2, e para uma melhor explanação do assunto, foi simplificada na Tabela 2, a qual apresenta todos os intervalos de frações granulométricas citadas.

Tabela 2 - Classificação dos Sedimentos, segundo a Escala Granulométrica de Udden-Wentworth (1922).

FRAÇÕES SEDIMENTOLÓGICAS	ESCALA GRANULOMÉTRICA	
	Phi ( $\phi$ )	Milímetro (mm)
Cascalho	Inferior a -1	Superior a 2
Areia Muito Grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia Grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia Média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia Fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia Muito Fina	3 a 4	0,125 a 0,062

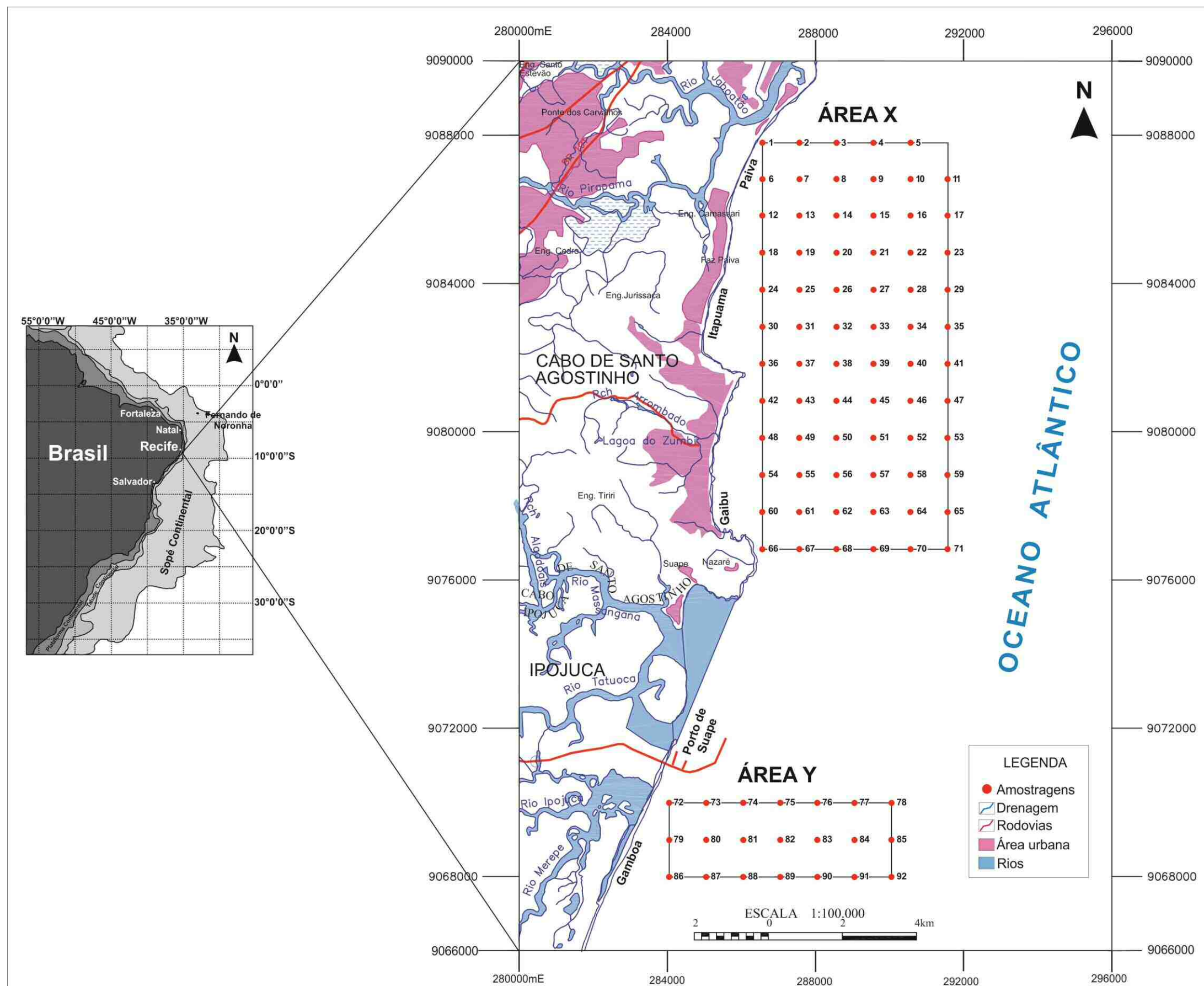


Figura 3.22 - Mapa base do levantamento da amostragem sedimentológica.

### 3.3.3 Análise Composicional Mineralógica dos Sedimentos

Para possibilitar o conhecimento da tipologia da cobertura sedimentar de fundo das subáreas alvo A e B do levantamento batimétrico, foram realizados três tipos de análises nas amostras de sedimentos coletadas:

#### I. Análise Quantitativa– Determinação das Concentrações do Teor de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) das amostras:

Consistiu em análises químicas realizadas no Laboratório de Oceanografia Química (Figura 3.23) do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foi determinado o teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) das amostras sedimentares, adotando-se o método descrito por Loring & Rantala (1992). Basicamente, esse método consiste na dissolução do  $\text{CaCO}_3$  por ataque com ácido clorídrico (HCl), com o propósito de eliminar e quantificar o carbonato presente nas amostras.



Figura 3.23 - Laboratório de Oceanografia Química da UFPE, equipado com capela ao fundo (lado esquerdo) e todo instrumental usado nas análises químicas de ataque ao carbonato das amostras.

Alíquotas secas de 10 g de cada amostra bruta foram acondicionadas num *becker* e gradualmente submetidas à reação com uma solução de HCl a 40% a frio, durante 24 h, de forma a garantir que todo o  $\text{CaCO}_3$  foi dissolvido. Após este procedimento, as alíquotas foram lavadas com água destilada por três vezes, levadas à estufa para secagem a 60 °C e, depois de secas e esfriadas no dessecador para  $\text{CaCO}_3$  tem seu peso aferido em balança de precisão, considerando-se as medições até a terceira casa decimal. Posteriormente, foi calculado o teor



de carbonato a partir da diferença entre as pesagens das massas inicial e final, obtendo o resultado em porcentagem através da fórmula matemática citada a seguir:

$$\text{Teor de CaCO}_3 (\%) = \frac{P_i - P_f \times 100}{P_i}$$

Eq. 1 - Fórmula utilizada para cálculo do percentual de CaCO<sub>3</sub> nas amostras.

Onde:  $P_i$  = Peso inicial da amostra;

$P_f$  = Peso final da amostra.

Depois de obtidos os teores de carbonato nas amostras, elas foram classificadas segundo a categorização simplificada de Larssonneur (Tabela 3):

Tabela 3 - Composição dos sedimentos – Percentual de CaCO<sub>3</sub>, segundo classificação de Larssonneur (1977).

<b>Principais Divisões</b>	<b>% de Carbonato</b>
Sedimento Litoclástico	≤ 30%
Sedimento Litobioclástico	> 30% ≤ 50%
Sedimento Biolitoclástico	> 50% ≤ 70%
Sedimento Bioclástico	> 70%

## II. Análise Qualitativa – Classificação Macroscópica e Binocular:

Durante a fase inicial de trabalhos de laboratório, efetuou-se uma organização das amostras sedimentológicas a serem analisadas. Através de descrição visual macroscópica e binocular das amostras, foi realizada a identificação das principais frações biogênicas e dos minerais siliciclásticos que compõem a sedimentação de fundo das áreas estudadas.

A descrição macroscópica ocorreu em laboratório a partir de exame a olho nu, separação, catalogação e registro fotográfico das amostras sedimentológicas coletadas em campo, organizando todo o material para realização das demais análises mineralógicas (Binocular e determinação do Teor de Carbonato). Observou-se a composição mista da sedimentação, em que surgiu a ideia inicial a respeito das diferentes tipologias e dimensões de clastos predominantes nas subáreas A e B estudadas.

Em estudos de detalhe com lupa binocular, foram analisadas amostras representativas das granulações areia média e areia grossa, definidas a partir do mapa de diâmetro médio, sendo selecionados para análise 100 grãos aleatórios de cada amostra nas frações de 1 mm.

As análises foram realizadas no LGGM, através de lupa binocular (Figura 3.24) adequadamente calibrada, apresentado as seguintes características: marca LIEDER e aumento selecionável de 10x ou 30x.

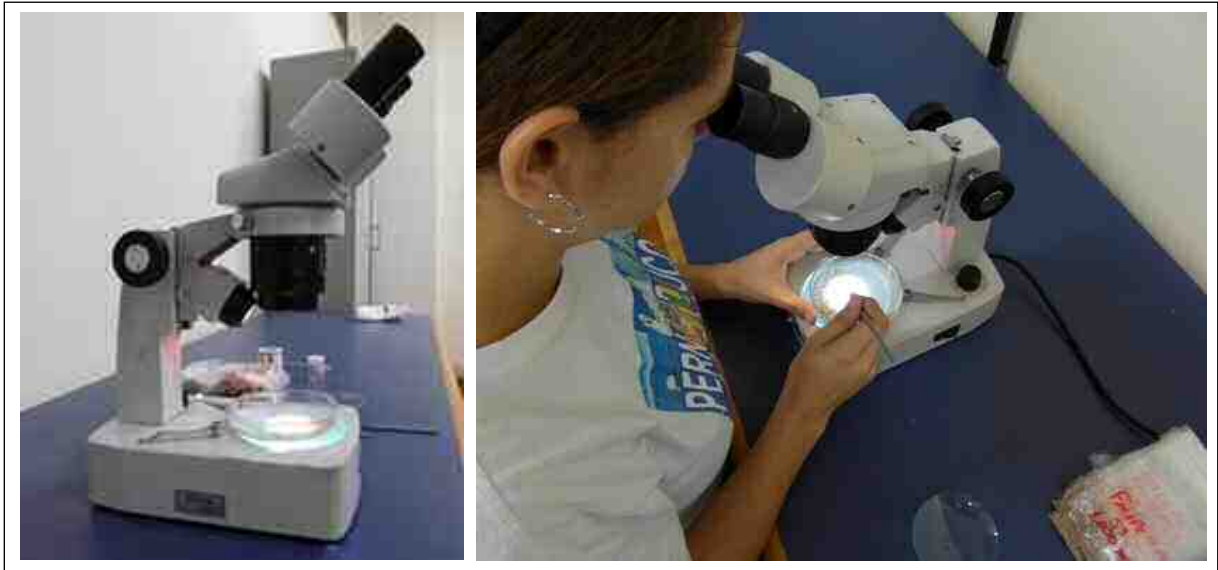


Figura 3.24 - Lupa binocular LIEDER utilizada para triagem e classificação dos grãos.

Posteriormente, através do programa computacional *LAZ EZ*, versão 1.6.0, foram capturadas fotos para ilustração das diferentes composições dos clastos, que se fazem presentes nas subáreas A e B de estudo, com o auxílio de uma *webcam* acoplada à lupa binocular Leika (modelo EZ4D - aumento gradual de 16x até 35x), cedida pelo Setor de Laboratório (SECLAB) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-SGB).

### III. Parâmetros Estatísticos Granulométricos

A partir dos dados obtidos nas áreas X e Y foram gerados os mapas dos parâmetros estatísticos (Média, Desvio Padrão, Assimetria, Curtose) e das Fácies Texturais, os quais foram posteriormente interpretados possibilitando a determinação das características sedimentológicas dos depósitos a serem utilizados para regenerar praias degradadas próximas às áreas mapeadas.

### 3.4 TRABALHOS DE GABINETE - TRATAMENTO DOS DADOS GEOFÍSICOS

#### 3.4.1 Processamento dos dados sísmicos:

Para análise dos dados sísmicos adquiridos foi utilizado o *software* SONARWIZ, cedido pela CPRM/SBG com o intuito de configurar características físicas como a geometria vertical dos depósitos de areias siliciclásticas, possibilitando a determinação das espessuras de bancos sedimentares sugestivamente existentes nas proximidades do continente, nas referidas áreas X e Y (Figura 3.2).

A partir do processamento dos dados foi inicialmente visualizado o posicionamento dos perfis nos trechos levantados mostrando a direção e também o sentido dos perfis adquiridos. Posteriormente, tentou-se visualizar as seções adquiridas através das opções de canais oferecidas pelo programa, entretanto, não foi possível distinguir com clareza os traços refletores dos perfis, não definindo, por conseguinte, os arranjos que identificariam o limite das camadas, impedindo, desta forma, a medição correta da espessura sedimentar.

#### 3.4.2 Tratamento dos dados batimétricos e confecção dos mapas e modelos 3D

Após aquisição dos dados batimétricos, foi realizada a correção de variação da altura de maré segundo Souza (2003), nivelando os valores da profundidade medida, os quais naturalmente oscilam no tempo em função do movimento do mar.

Com os pontos adquiridos e corrigidos (24.669 na subárea A e 6.307 na área B) foi gerada a planilha em formato de tabela *Excel*, semelhante à exposta na Tabela 4, armazenando assim o conjunto de informações batimétricas necessárias ao modelamento. Os dados da planilha compreendem: registro de pontos a cada segundo, posição geográfica (X, Y) com coordenadas em UTM e a profundidade (Z) correspondente.

Depois da organização inicial dos dados, efetuou-se uma filtragem dos pontos adequando a densidade da malha amostral primitiva. Primeiramente foram eliminados os pontos marginais que extrapolam os limites das linhas dos perfis previamente definidos, por estes apenas posicionarem o deslocamento do barco. Depois, selecionaram-se dos perfis os pontos lidos a cada 250 metros, tornando a distribuição mais regular e preparando os dados de real interesse para geração das isolinhas de profundidade.

Tabela 4 - Modelo da planilha gerada contendo os dados para posterior processamento.

Hora	Coordenadas UTM			Prof. nível mar (m)
	Zona	E	N	
07:51:18	25 L	286463	9084619	9,58
07:51:19	25 L	286464	9084619	9,48
07:51:20	25 L	286465	9084619	9,48
07:51:21	25 L	286466	9084619	9,58
07:51:22	25 L	286467	9084619	9,48
07:51:23	25 L	286468	9084620	9,58
07:51:24	25 L	286470	9084620	9,88
07:51:25	25 L	286472	9084621	9,48
07:51:26	25 L	286474	9084621	9,38
07:51:27	25 L	286475	9084622	9,68

Através da escolha do método de interpolação por funções matemáticas mais adequadas, iniciou-se então a fase de modelagem batimétrica das áreas com o intuito de gerar um modelo representativo da superfície do relevo do assoalho marinho.

Numa interpolação, através de cálculos computacionais, são estimados valores entre dois ou mais pontos medidos construindo uma malha regular ou grade (*grid*), cujos valores dos nós do *grid*, são dados pelas intersecções entre linhas e colunas, como ilustrado em 3D (Figura 3.25).

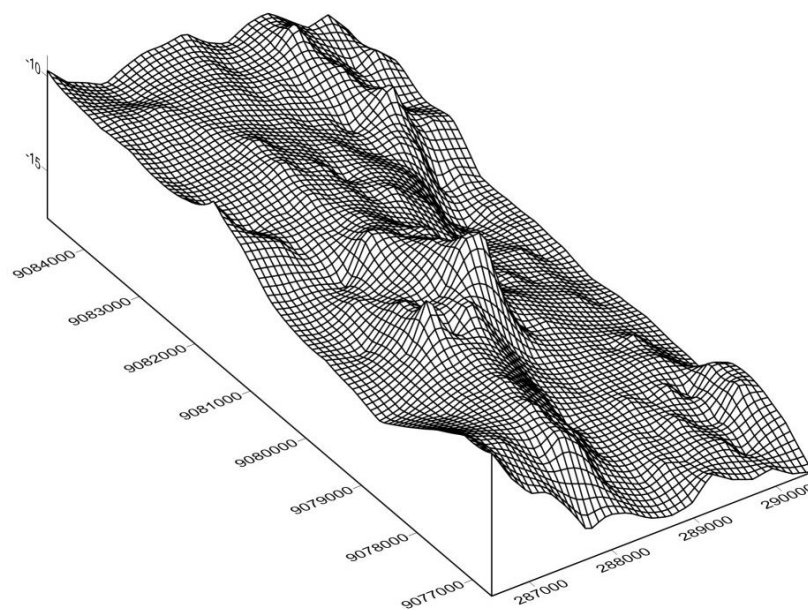


Figura 3.25 - Representação em 3D do Grid (malha) gerado pela interpolação “Krigagem”.

Em termos operacionais, o *software* utilizado constrói uma malha regular de pontos XYZ, de configuração tridimensional, a partir de uma malha regular ou irregular de pontos de entrada, e somente após este procedimento são construídos os mapas de interpolação. Este procedimento é denominado “gridagem”, ou seja, a construção de um *grid* (ou malha) com distribuição espacialmente regular de pontos.

Na confecção dos modelos batimétricos das subáreas, foram testados diversos métodos de interpolação utilizando-se os programas *Surfer 10* e *ArcGIS 10*. Foram analisadas as diferenças entre o espaçamento das linhas de levantamento e o espaçamento entre as linhas do processamento, selecionando-se assim o método de “gridagem” que melhor representou e distribuiu os dados, o qual definiu a topografia submarina das áreas pesquisadas. Optou-se então pelo método da *krigagem*, com o espaçamento de cerca de 80 m entre os nós do *grid*. Este foi considerado o interpolador estatístico que apresentou melhores resultados na geração dos mapas, possibilitando a criação de superfícies contínuas a partir de amostras pontuais.

Na Figura 3.26 são apresentados os perfis modelados com as curvas e valores interpolados, sobrepostos aos perfis com as curvas e valores obtidos nas medições batimétricas.

Comparação entre curvas/pontos das medições e interpolados por krigagem:

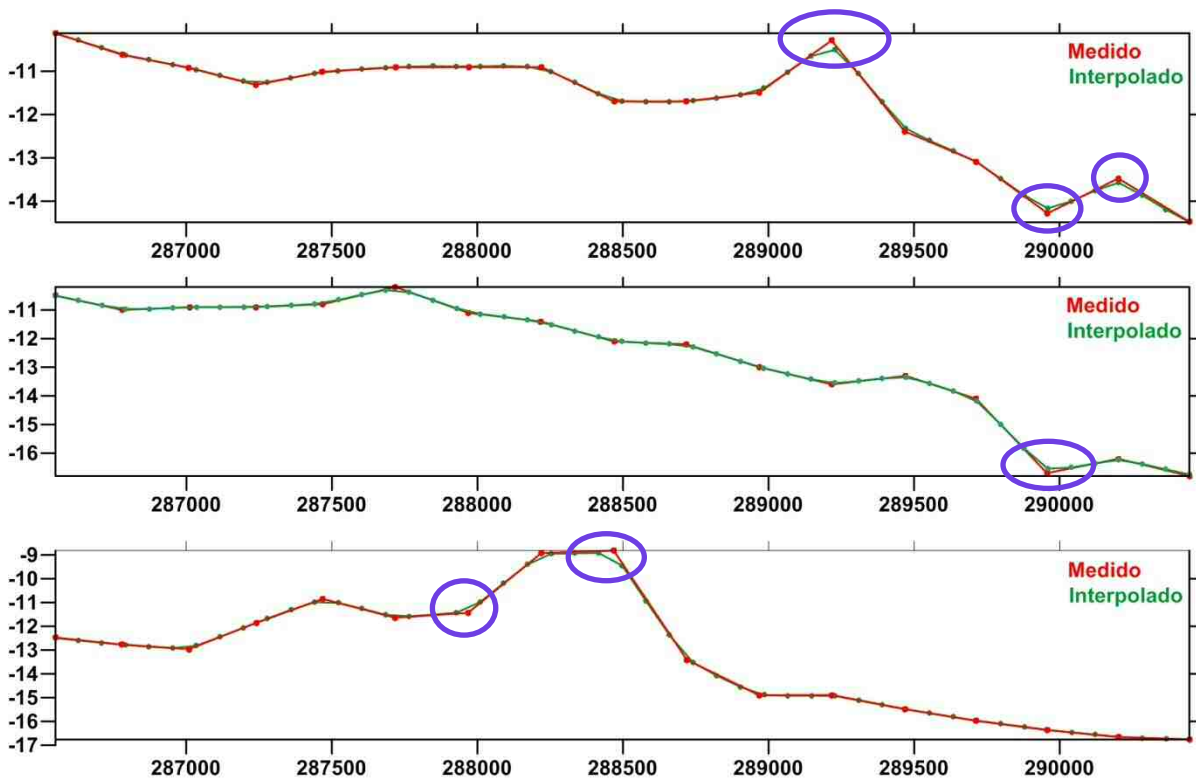


Figura 3.26 - Comparação de curvas/pontos dos perfis batimétricos a partir da superposição de valores medidos X interpolados, mostrando o bom ajuste das curvas e destacando os trechos onde se observam os erros locais.

Comparando os valores, constata-se que os perfis mostram em geral um bom ajuste para as curvas, ocorrendo apenas pequenas diferenças (destacadas em azul) em alguns trechos com elevações e/ou depressões mais íngremes, ocasionando um “erro” local médio de 20 cm, perfeitamente aceitável para o levantamento em pauta, atestando o interpolador *Krigagem* como adequado para o tratamento de dados das áreas.

Após a definição do método de interpolação, os dados foram processados gerando arquivos grid (\*.grd), úteis na produção de mapas de isolinhas que evidenciam a morfologia das áreas da pesquisa. Para desenvolver estudos complementares, foram ainda gerados diversos perfis batimétricos em ambas as áreas, possibilitando assim uma melhor análise visual e compreensão das feições existentes (elevações e reentrâncias) e como estas se distribuem.

### 3.4.3 Tratamento dos dados Sonográficos

Após aquisição dos dados sonográficos, foi realizado o tratamento dos mesmos a fim de examinar os depósitos de siliciclásticos da área selecionada, através de análises das imagens superficiais dos perfis e mosaicos gerados para estudo do assoalho marinho.

O processamento dos dados sonográficos adquiridos foi executado no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (GGEMMA-UFRN), através da aplicação do *software* SonarWiz 5 V5.05.0021, o qual oferece as ferramentas necessárias para tratar as imagens acústicas, como filtros, importar e exportar mapas de base, inserção de pontos e linhas, outras.

O trabalho de processamento dos dados hidroacústicos envolve a realização de uma série de etapas indispensáveis para que o dado adquirido revele de informações com maior perceptibilidade e detalhe.

Da literatura referenciam-se os trabalhos de Barbosa (2012), Souza (2006), Head (2004), Paolo e Mahiques (2008); e Dondurur & Çifçi (2007) na descrição da importância e aplicação dos passos desenvolvidos ao longo do processamento dos dados acústicos obtidos pelo *Side Scan Sonar*, como:

- A remoção de ruídos, os quais confundem a assimilação da real característica do fundo marinho;
- A utilização de filtros digitais para excluir as frequências referentes ao “ruído” (como eco, ruído ambiental e reverberação), facilitando a visualização de estruturas ou comportamento do fundo;

- Aplicação do padrão de cor cinza nas imagens permitindo realçar os contrastes causados por regiões de sombra acústica e também pelas variações de amplitudes do sinal de retorno.
- E finalmente, a construção de mosaico, para facilitar a visualização das características gerais da área, permitindo (ou promovendo) a realização das interpretações.

Esses procedimentos são necessários devido os registros adquiridos comumente apresentarem muitos ruídos e distorções ocasionados por fatores diversos, tais como: variações da altura do sensor, instabilidade no cabo de reboque do sensor, movimentos e manobras da embarcação no mar causando variação de velocidade ao longo do deslocamento, espalhamento horizontal do feixe acústico, inclinações do ‘*range*’ e das camadas de fundo, dentre outros.

Nesta pesquisa as etapas adotadas para o processamento dos dados de sonar foram:

- 1) Inicialmente foi criado um novo Projeto, para promover a importação os dados adquiridos pelo *Side Scan Sonar* para o programa;
- 2) A seguir, importou-se o arquivo dos dados acústicos (formato XTF), convertendo automaticamente os dados para arquivos de formato CSF, possibilitando assim a geração do mosaico sonográfico. Nessa etapa foram estabelecidas as configurações iniciais, como importado o arquivo para os canais 3 e 4, atribuindo intervalo de alta frequência do dado a ser trabalhado. Dessa forma, sinais com frequências fora da faixa escolhida foram descartados, reduzindo os ruídos no mapa sonográfico gerado;
- 3) Extração da área central não imageada no sonograma bruto (Figura 3.27): através da aplicação do processo “Bottom Track”. Este é utilizado para retirar a coluna d’água registrada na varredura juntamente ao ‘nadir’ (linha ofuscada preta no centro da imagem bruta, correspondente ao local do terreno percorrido pelo *towfish*), e depois realizar a junção das duas áreas imageadas, corrigindo as distorções geométricas que comprimem os limites próximos ao transdutor;
- 4) Aplicação de filtros: Para amenizar os erros de frequência embutidos nos dados adquiridos durante o levantamento, foram utilizadas algumas ferramentas de filtragem disponibilizadas no programa. Dentre os principais filtros destaca-se primeiramente o filtro TVG (*Time Variable Gain*), responsável pelo ajuste da curva do ganho acústico (Figura 3.28). Esse filtro intensifica o contraste, aprimorando a visualização de fundo e é utilizado para corrigir distorções na imagem causada por irregularidades das reflexões no terreno.

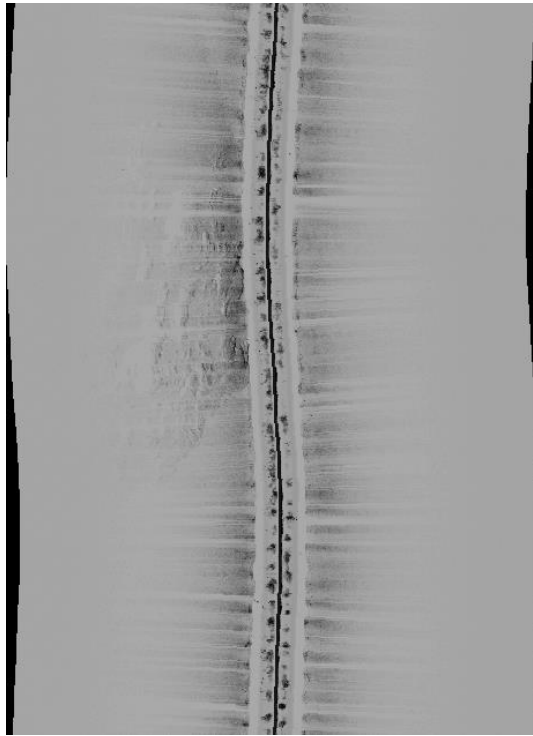


Figura 3.27 - Sonograma bruto apresentando imagem sem tratamento, com destaque para a área do 'nadir' (linha preta ao centro) e a coluna d'água (faixa clara em ambos os lados do nadir).

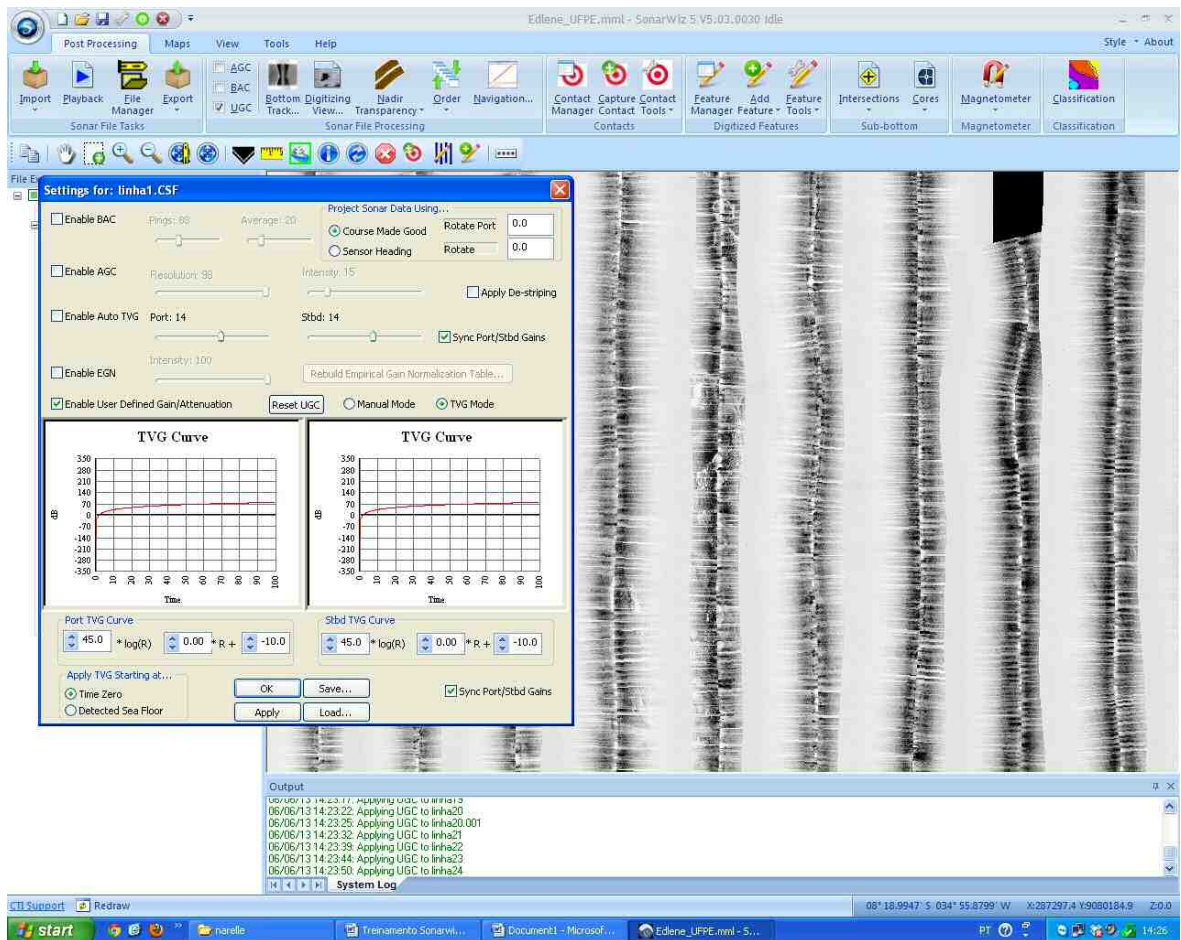


Figura 3.28 - Ajuste da curva TVG (Time Variable Gain) para corrigir distorções causadas por irregularidades no terreno.



Outra importante aplicação é atribuída ao filtro o AGC, o qual elimina os erros decorrentes dos diferentes ângulos formados entre o pulso gerado pelo sonar e o alvo no fundo marinho imageado e também aqueles ocasionados em função da variação das distâncias entre o pulso e o alvo. A aplicação do filtro AGC também proporciona aumento do contraste do dado, além de realçar um exagero vertical das feições encontradas. A Figura 3.29 ilustra uma imagem sonográfica bruta, sem filtros, e o seu comportamento após a aplicação da filtragem.

- 5) Por fim, exportaram-se os dados finais (mosaico gerado com as linhas tratadas) para interpretação de dados por delimitação de áreas apresentando texturas homogêneas.

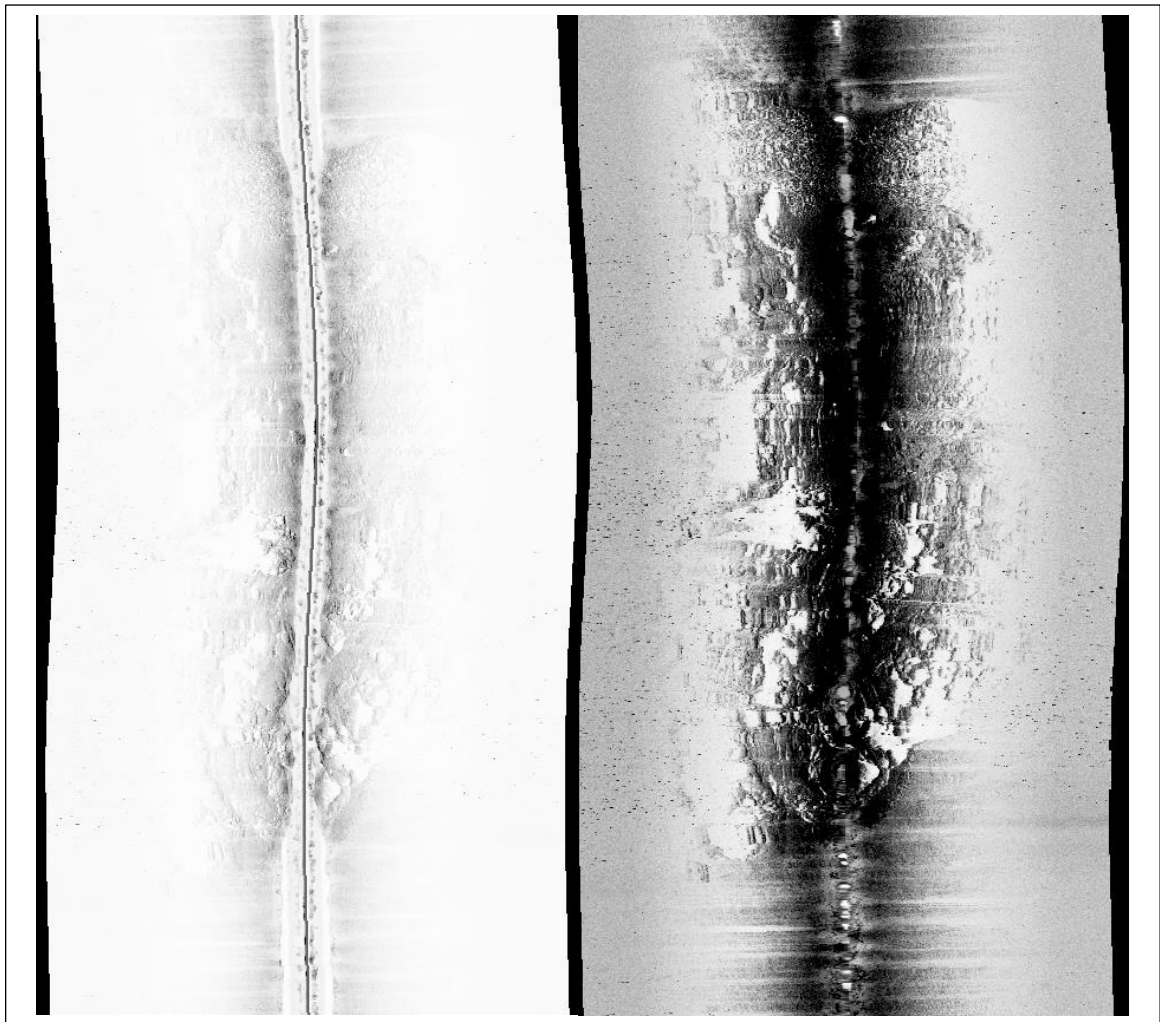


Figura 3.29 - À esquerda: imagem sonográfica bruta; à direita, resultado da filtragem no programa SonarWiz, realçando a textura rugosa do substrato consolidado.

Cada perfil sonográfico é composto por 5 imagens de aproximadamente 1.050 km de comprimento cada, num total de 5.250 km de extensão, excetuando-se as linhas 1, 12 e 20,

nas quais houve quebra no registro de dados devido problemas da navegação. A construção do mosaico é permitida através do *software SonarWiz Map 5*, simultaneamente ou posterior à aquisição, uma vez que foi empregado também na aquisição dos dados sonográficos. Este, em ambas as etapas proporciona o uso de ferramentas de apoio como zoom, medições diversas, alteração na palheta de cores do dado, além de exportar os dados finais em diversas extensões úteis, como por exemplo, Shapefiles, GoogleEarth, KMZ, HTML, DXF e ESRI, possibilitando a interação e/ou processamento utilizando outros programas.

Ressalta-se ainda que para a exibição dos perfis, foi escolhida a palheta de cores em tons de cinza por considerar que apresentou um contraste satisfatório dentre as diferentes texturas examinadas.

### 3.5 UTILIZAÇÃO IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE CARTAS NÁUTICAS

A utilização de dados de satélites orbitais em estudos oceanográficos tem ganhado força nos últimos anos, baseada, sobretudo, na diversidade de aplicações. Entre as mais importantes destacam-se: estudos ambientais, monitoramento de manchas de óleo no mar, temperatura dos oceanos, concentração/distribuição de *fitoplâncton* no oceano, alturas do nível do mar, evolução de linha de costa no tempo, rugosidade da superfície do mar com fins diversos, como identificação de alvos (navios, plataformas), medidas de distribuição de gelo no mar, de velocidade e direção de ventos e ondas, mapeamento de zonas costeiras e também de feições oceânicas de meso escala.

Foram considerados para o desenvolvimento desse estudo, alguns parâmetros de grande importância nas análises de imagens de satélite (Kampel, 2002; Souza 2003):

- As variações nas cores dos oceanos: basicamente depende da radiação emitida do oceano para o sensor e esta por sua vez depende das diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições ocorrentes no fundo marinho;
- A turbidez da água: a presença de partículas e sedimentos em suspensão influenciará na visibilidade do fundo sedimentar;
- A profundidade da área analisada: importante devido o alcance de penetração da luz solar na superfície marinha;
- A cobertura por nuvens: são limitantes da qualidade da imagem fornecida pelo sensor, dificultando e podendo até impedir a visualização de trechos numa imagem. Vale

ressaltar que nas áreas da pesquisa, as imagens apresentavam cobertura de nuvens espalhadas apenas sobre o continente, não interferindo nas investigações das áreas em foco.

Após seleção e aquisição da imagem de satélite TM/LANDSAT 7, Órbita-ponto 214/066 de 29/05/2000, com composição colorida nas bandas R1G2B3, a mesma foi tratada no Programa *ArcGis10 e ENVI 5.0*, no intuito de ressaltar indícios da presença de bancos de areia, feições marinhas de interesse desse trabalho.

Inicialmente foi realizado um recorte da mesma, excluindo-se a porção continental, que estava recoberta de nuvens. Posteriormente fez-se o ajuste do histograma e logo depois foram aplicados filtros direcionais com diversas inclinações solares, sendo escolhidas as de  $0^\circ$  e  $15^\circ$ , por apresentarem melhor resposta espectral. Estas possibilitaram informações complementares reforçando e/ou tornando mais evidentes os indícios de acúmulos de sedimentos, além de outras observações características dentro e fora das áreas de estudos.

A análise dessas imagens de satélites mostrou-se como importante ferramenta de obtenção das áreas assim como o exame de outras fontes (análises de Carta Náutica), e, através dessas novas fontes associadas, obter um melhor conhecimento do fundo submarino nas áreas propostas.

### 3.6 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA JAZIDA

O cálculo estimativo das reservas de um determinado depósito mineral pode ser feito através de vários métodos, com base em parâmetros de mensuração necessários ao cálculo volumétrico. As medidas de cálculo de superfície de abrangência podem ser obtidas através da medição direta ou extraídas de modelos computacionais que processam os dados e calculam superfícies irregulares tal como a do assoalho marinho. Já os parâmetros de espessura vertical podem ser obtidos a partir de dados de sondagens verticais, de trabalhos mineiros ou de métodos indiretos, tais como os de sísmica.

No caso específico das areias plataformais, os cálculos para mensuração da superfície ondulada podem ser baseados em dados extraídos de um modelo batimétrico específico recente, para o qual dentro de um período de tempo limitado é considerado válido, a depender da dinâmica costeira atuante, possibilitando desta forma delimitar a morfologia, para obtenção da real dimensão espacial da jazida.

Para avaliação da componente vertical no âmbito da jazida, as espessuras seriam determinadas inicialmente através de métodos geofísicos de prospecção, como a sísmica de reflexão, avaliado através dos cálculos do coeficiente de variação estabelecido em relação à espessura das areias, fornecida pelos levantamentos sísmicos realizados. Entretanto, a avaliação das espessuras não foi utilizada por este método, face aos resultados negativos apresentados. Para compensar a ausência desses dados sísmicos, os cálculos das reservas tiveram como base informações de testemunhos de sondagem de trabalhos recentes (CB&I 2013a/b) efetuados na área, que possibilitou estabelecer as espessuras verticais sedimentares máximas de siliciclásticos a serem explorados nos bancos de areias, de forma a causar o menor impacto ambiental possível, com a finalidade de garantir a preservação do ecossistema local.

Para efetuar uma estimativa do volume da jazida, foi mensurada a superfície (em m<sup>2</sup>) do relevo ondulado do por toda a extensão da jazida, utilizando os modelos batimétricos realizados. A componente vertical utilizada foi uma média das espessuras do material arenoso siliciclástico avaliado dentro de 8 (oito) testemunhos de sondagem na área de influência dos limites da jazida.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados mais relevantes obtidos em cada um dos métodos realizados iniciando pela Sedimentologia, seguida dos estudos de Sensoriamento Remoto e depois os Métodos Geofísicos investigados, envolvendo Modelamento Batimétrico 2D e 3D associado às análises de Seções Sísmicas e à Sonografia. Ao final, foi realizada a integração de resultados dos dados inquiridos, com o intuito de investigar bancos de sedimentos arenosos presentes no contexto da Bacia Pernambuco.

### 4.1 ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS

Os resultados analíticos das amostras dos sedimentos coletadas possibilitaram a caracterização de fundo das áreas investigadas, do ponto de vista granulométrico e composicional, conforme apresentado a seguir.

#### 4.1.1 Resultado das Análises dos Parâmetros Estatísticos

Os principais produtos obtidos do tratamento estatístico das amostras de sedimentos foram as medidas: Diâmetro Médio, Desvio Padrão (grau de seleção), Assimetria, Curtose e também as Fácies Sedimentares. Estas foram interpretadas conforme descritos a seguir:

##### I. Diâmetro Médio:

O diâmetro médio dos grãos é um dos parâmetros estatísticos mais expressivos utilizado em Sedimentologia, o qual reflete a média geral da dimensão das partículas sedimentares e é função da fonte de suprimento de material, do processo de deposição e da velocidade da corrente, indicando a intensidade da energia atuante no ambiente (Folk & Ward, 1957 e Suguio, 1973). Nas análises da distribuição do Diâmetro Médio realizadas para

a área X verifica-se a existências das populações areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina, com percentuais expressos no gráfico da Figura 4.1.

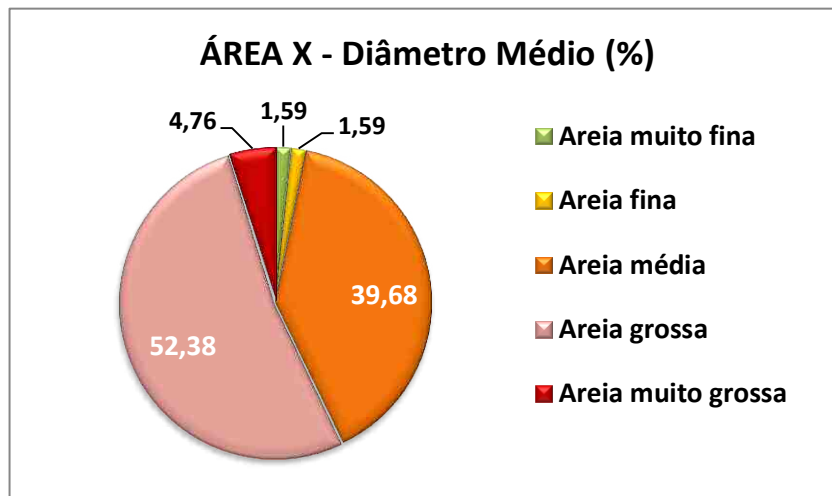


Figura 4.1 - Distribuição do percentual do Diâmetro Médio da área X.

Observando-se o gráfico, constata-se o predomínio das frações areia grossa e areia média, que juntas somam mais de 90% dos sedimentos dessa área, destacando-se pela importância destas representarem as granulometrias procuradas para regeneração de praias degradadas de áreas vizinhas. Outra população menos significativa é a fração areia muito grossa, que corresponde a 4,76% da sedimentação e é notável ainda a escassa quantidade das frações areia fina e areia muito fina, cada uma representada por apenas 1,59% das populações assinaladas na área X estudada.

Nos estudos da distribuição percentual do Diâmetro Médio para a área Y, verificou-se que apenas coexistem as populações areia muito grossa, areia grossa e areia média, estando ausentes as demais populações encontradas na área X, conforme o gráfico da Figura 4.2.

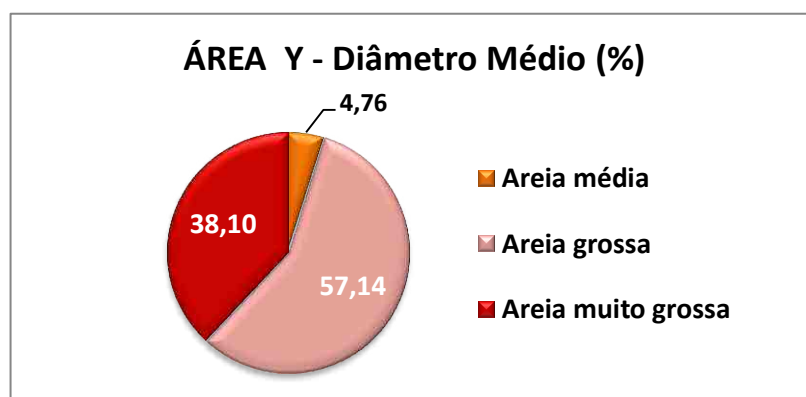


Figura 4.2 - Distribuição do percentual do Diâmetro Médio da área Y.

Do gráfico construído para a área Y (Figura 4.2), constatou-se inicialmente que das três frações granulométricas que ali ocorrem há predomínio da fração areia grossa (57,14%). Seguida desta, a fração areia muito grossa se apresenta como a segunda representação significativa correspondendo a 38,10% da sedimentação e observa-se ainda uma pequena participação da fração areia média com 4,76% dos sedimentos da área. Somando-se os percentuais das frações areia média e areia grossa, essas áreas correspondem a 61,9% dos sedimentos da área Y, com sedimentos de dimensão desejada para regeneração das praias vizinhas às regiões estudadas.

A partir da análise estatística dos parâmetros granulométricos, efetuada em 92 amostras coletadas, foi obtido primeiramente o Mapa de Diâmetro Médio (Figura 4.3), o qual permite a visualização da distribuição das frações granulométricas nas áreas X e Y. Cita-se como principais características observadas na área X:

- Destaca-se uma ocorrência pontual bastante restrita, discretamente representada na cor verde no extremo noroeste da área, apresentando sedimentação na fração areia muito fina, vizinha à Praia do Paiva.
- Saindo da região de ocorrência da fração areia muito fina (em verde) em direção ao centro do mapa ocorre a fração areia fina (em amarelo), registrando juntamente com a ocorrência pontual anteriormente citada a porção onde ocorrem as sedimentações mais finas do levantamento. Ressalta-se ainda que ambas encontram-se posicionadas a sul da desembocadura do Rio Jaboatão numa área muito próxima à linha de costa, no extremo noroeste do mapa.
- A distribuição das frações areia média (em laranja) e areia grossa (na cor rosa) é dominante e de interesse fundamental nessa pesquisa, estando bem distribuída em toda extensão do mapa, ocupando toda a região central, excetuando-se apenas no extremo noroeste, nordeste e na porção sudeste, onde se concentram as demais granulações.
- No extremo nordeste verifica-se a presença de uma região dominada por corais destacada em marrom;
- Ao sudeste constata-se a existência de concentração de sedimentos de granulação areia muito grossa (em vermelho).

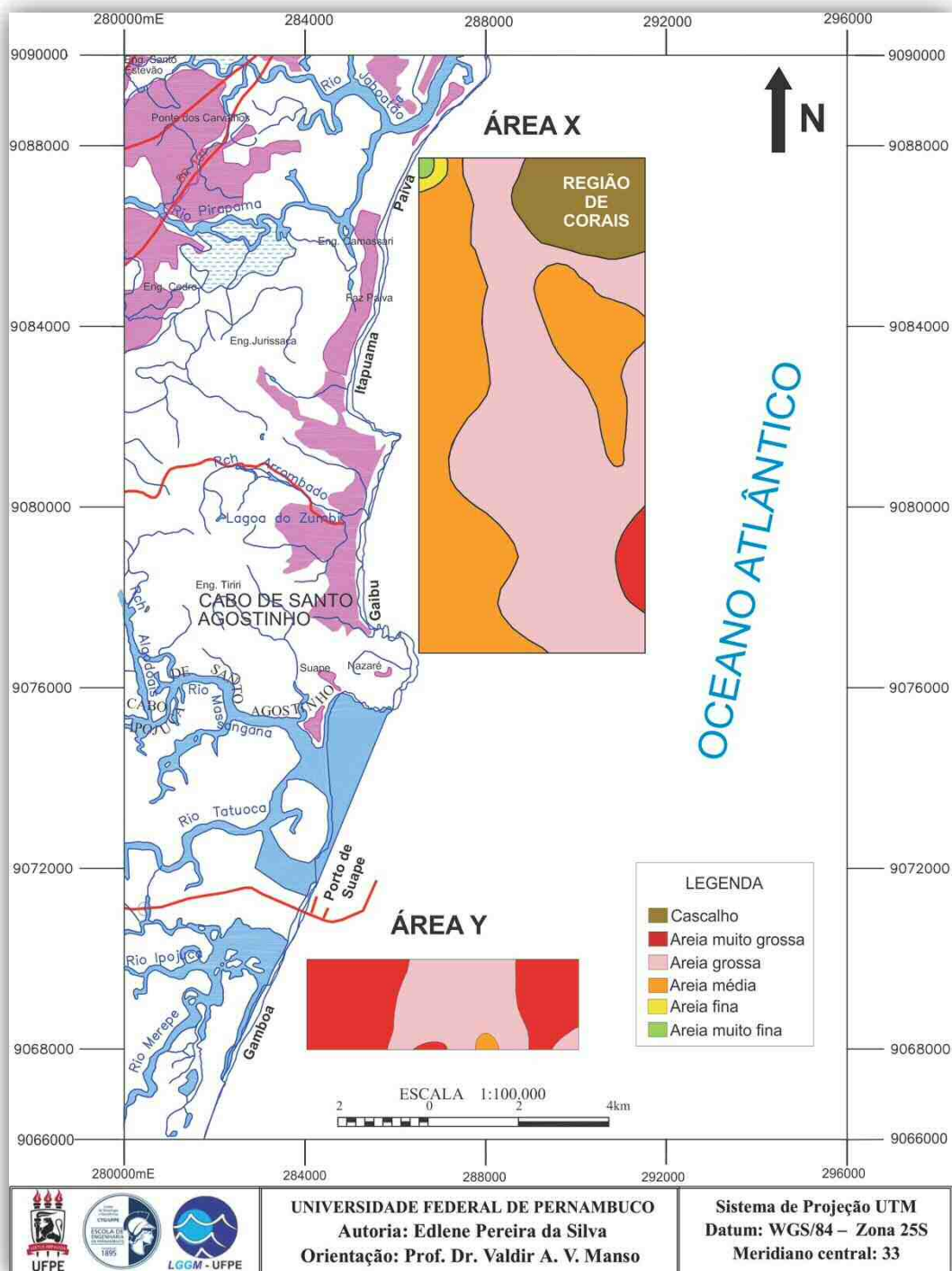


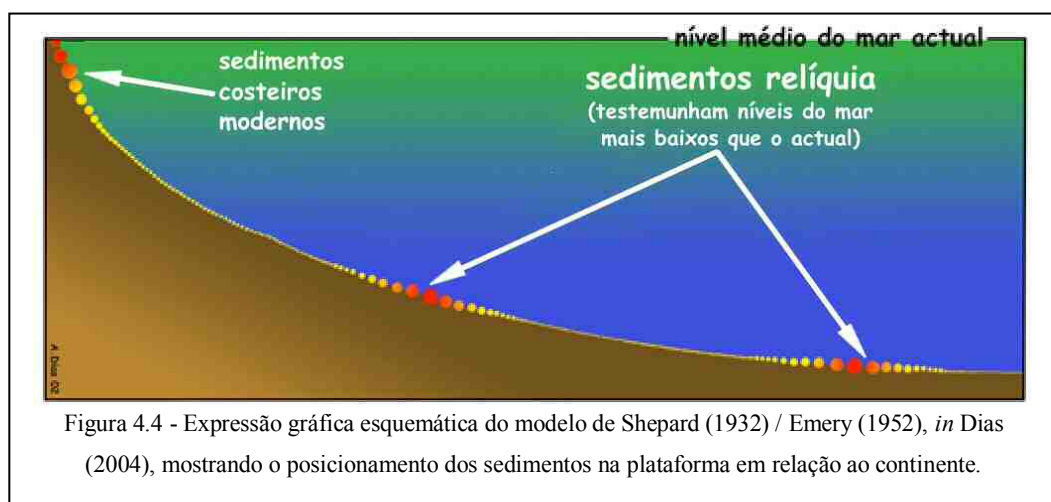
Figura 4.3 - Mapa de Diâmetro Médio apresentando a distribuição média das diferentes populações de grãos.

Observa-se que a tendência da distribuição média da população de grãos das diversas frações é ocorrer de forma alinhada, paralela à linha de costa, apresentando granocrescência em direção à plataforma média, o que corrobora os estudos de Madruga (2004). Comportamento análogo foi observado por Dias (1987) na plataforma continental de Portugal e por sua vez se adéqua à proposta de distribuição sedimentar dos modelos de Shepard (1932)



e Emery (1952), expresso esquematicamente por Dias (2004) em seu trabalho sobre a evolução do conceito de sedimento relíquia (Figura 4.4). Esse modelo configurado através de expressão gráfica designa que os "Sedimentos Relíquia" foram formados em condições onde nível médio do mar se encontrava bastante mais baixo do que o atual e, portanto, representam relíquias dos ambientes sedimentares.

Esse fato indica que os rios da área fornecem atualmente à plataforma sedimentos da fração fina, e os sedimentos palimpséticos e reliquiais de frações mais grossas foram retrabalhados pelas correntes, estando, por conseguinte, concentrados nas porções mais distais, adentrando na bacia oceânica.



Na área Y, o Mapa de Diâmetro Médio (Figura 4.3) registra apenas a presença de sedimentos nas frações areia muito grossa, areia grossa e areia média, distribuídas irregularmente e em sua maioria aproximadamente paralelas à costa. São mais expressivas as ocorrências das frações areia grossa e areia muito grossa, que juntas recobrem mais de 95% da área Y. Há aproximadamente 5,5 km da costa (Praia da Gamboa), verifica-se uma restrita ocorrência da fração areia média (4,76%) e nota-se a ausência de frações menores (areia fina e areia muito fina), atribuída à falta de desembocaduras de rios próximas a área estudada.

Ressalta-se a grande importância das análises do mapa do diâmetro médio, no qual se afigura como foco de interesse desta pesquisa, por balizar as áreas que contém as frações areia média e grossa. As áreas que apresentam as demais frações granulométricas foram descartadas para efeito de continuidade das pesquisas, demarcando assim, novos limites (subáreas A e B) nos quais foram realizadas as análises da composição dos sedimentos e os levantamentos geofísicos, redirecionando as pesquisas para as áreas propensas a existência de bancos de areias siliciclásticas.

## II. Curtose:

Um segundo parâmetro estatístico analisado foi a Curtose, que consiste no grau de achatamento de uma curva em relação à curva representativa de uma distribuição normal.

Conforme a forma apresentada pela curva de distribuição, a curtose pode ser classificada em Platicúrtica (achatada), Mesocúrtica (normal) ou Leptocúrtica (alongada). Valores muito elevados ou muito baixos de curtose podem sugerir que um tipo de material foi transportado de uma determinada área-fonte e depositado sem perder suas características originais. Em relação ao espalhamento dos sedimentos, a curva Platicúrtica mostra sedimentos mais finos e mais grossos nas caudas, indicando mistura de diferentes subpopulações. A ausência de espalhamento nas curvas Leptocúrticas traduz sedimentos bem selecionados na parte central da distribuição (Jesus & Andrade, 2003). Segundo Martins (2003), os sedimentos praias, em geral, possuem curvas Leptocúrticas, enquanto que sedimentos eólicos, curvas Mesocúrticas.

A curtose, em outras palavras, é uma medida que expressa o grau de agudez que caracteriza os picos nas curvas de distribuição de frequência, representando a dispersão (espalhamento) das curvas de distribuição granulométrica (Suguio, 1973). Para a área X observamos um predomínio de valores Leptocúrticos e Mesocúrticos, perfazendo juntos um total de 71,43% das amostras. O gráfico abaixo apresenta estas e as demais frações que podem ser observadas na área X (Figura 4.5).

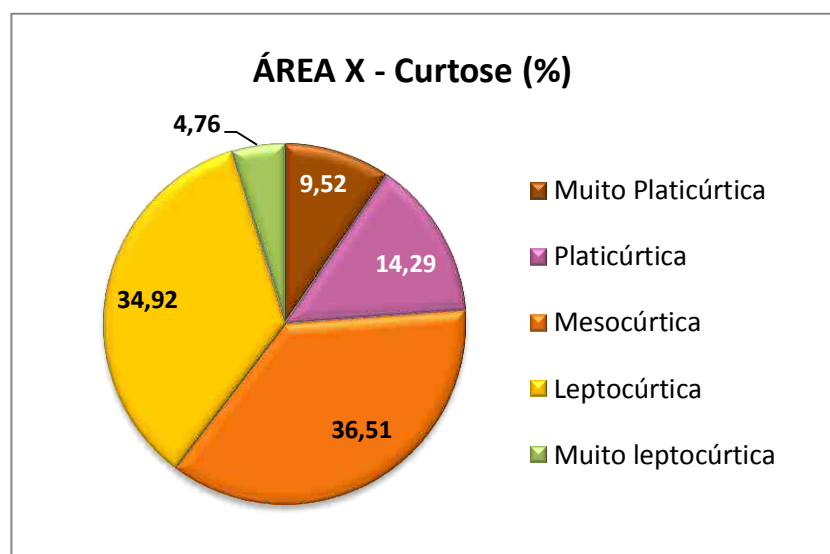


Figura 4.5 – Distribuição do percentual de Curtose da área X.

Para a área Y, observamos no gráfico da Figura 4.6 o predomínio de amostras Muito Platicúrticas e Platicúrticas, cada uma representando um valor percentual de 28,57%. As amostras Leptocúrticas e Mesocúrticas ocupam frações menores, porém significativas, com percentual de 23,81% e 19,05% respectivamente.

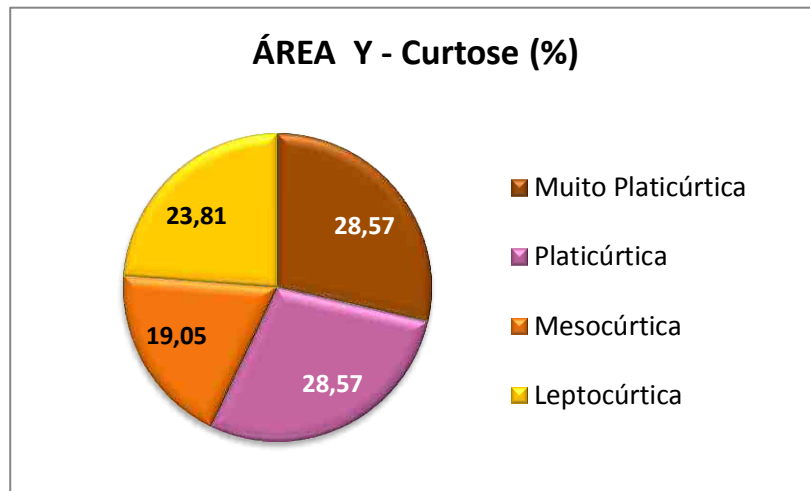


Figura 4.6 - Distribuição do percentual de Curtose da área Y.

Para visualização da distribuição da Curtose nas áreas estudadas foi gerado um mapa apresentado na Figura 4.7. Nele, observou-se de maneira geral para a área X a ocorrência de valores Muito Platicúrticos a Platicúrticos em concentrações arredondadas - prováveis agrupamentos de algas calcárias ou corais caracterizando áreas de energia moderada e baixo grau de seleção. Os valores Mesocúrticos distribuem-se como faixas alongadas que contornam áreas de baixa energia. Os valores Leptocúrticos e Muito Leptocúrticos ocorrem lateralmente a essas áreas. Na área Y, os trechos com amostras Muito Platicúrticas e Platicúrticas ocorrem com formato alongado podendo também ser considerados concentrações de corais ou algas calcárias. Ocorrem ainda amostras Mesocúrticas e Leptocúrticas distribuídas segundo uma direção NE-SW.

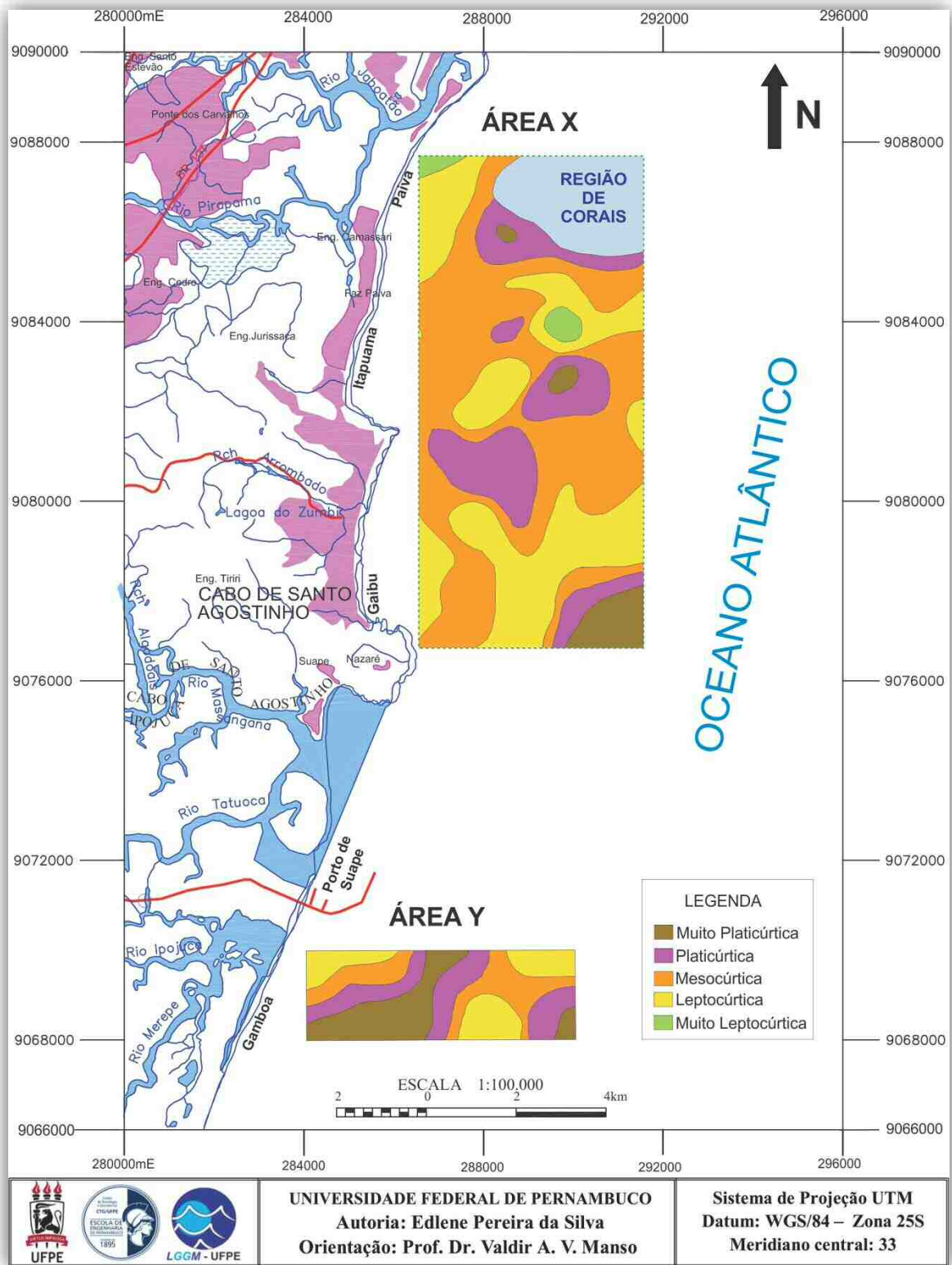


Figura 4.7 - Mapa de distribuição dos valores de Curtose dos sedimentos das áreas X e Y.

### III. Desvio Padrão (Grau de Seleção):

Um terceiro parâmetro estatístico analisado foi o Desvio Padrão ou Grau de Seleção granulométrica, que representa uma medida de dispersão estatística das amostras em torno de uma tendência central (Suguio, 1973). Partículas de diferentes dimensões tendem a ser separadas por tamanho em função do aumento do transporte ou da agitação do meio (Nichols, 2009).

Depósitos bem selecionados são aqueles que apresentam pequenas variações de tamanho de partículas. O grau de seleção dos sedimentos depositados em um dado ambiente é, de certo modo, influenciado pela distribuição de tamanho dos materiais da área fonte. Isso é demonstrado quando há indisponibilidade da área fonte em fornecer diferentes tamanhos de grãos ao agente de deposição e as diferenças energéticas do meio não são retratadas no material acumulado (Braga, 2007),

Conforme o gráfico da distribuição percentual do desvio padrão da área X (Figura 4.8) é registrada uma predominância de grãos moderadamente selecionados, chegando ocupar 84,13% da mesma; em menor quantidade encontram-se os grãos pobremente selecionados, representando 7,94%, grãos bem selecionados cujo percentual é de 6,35%, e ainda uma escassa parcela de 1,59% de grãos muito bem selecionados.

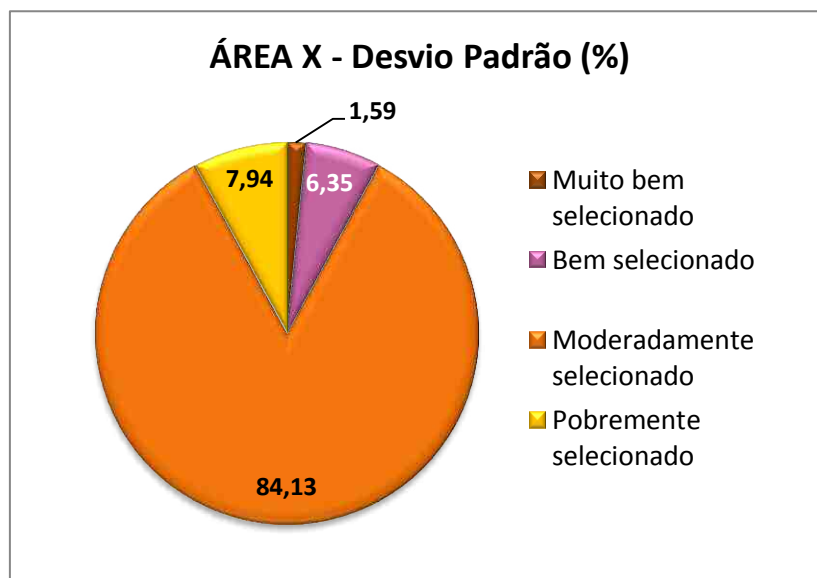


Figura 4.8 - Distribuição do percentual de Desvio Padrão da área X.

Na área Y a distribuição do desvio padrão os grãos moderadamente selecionados representam 47,62% (parcela mais significativa), e constata-se também expressivos percentuais de grãos bem selecionados e muito bem selecionados (Figura 4.9), cada um ocupando 23,81% da área. Os grãos pobremente selecionados representam apenas 4,76% dessa área.

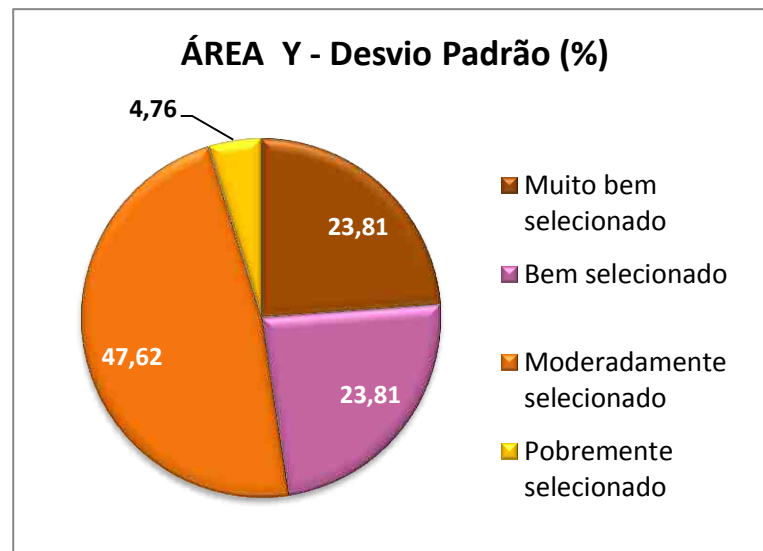


Figura 4.9 - Distribuição do percentual de Desvio Padrão da área Y.

Para apresentar a distribuição bastante expressiva desse parâmetro foram gerados os Mapas do Desvio Padrão, também conhecido como Mapa de Seleção de Grãos (Figura 4.10) para as duas áreas. Neste, identificou-se na área X uma predominância de grãos moderadamente selecionados indicando que a energia circundante nesta área é insuficiente para selecionar bem os grãos, fato comprovado no mapa de curtose. Porções de pontos isolados registram uma ocorrência de grãos bem selecionados. Na área Y, predominam grãos moderadamente selecionados, observando-se variações pequenas, com tendência a aumento da seleção de grãos em direção as amostras do noroeste e nordeste da área Y e também ao sul.

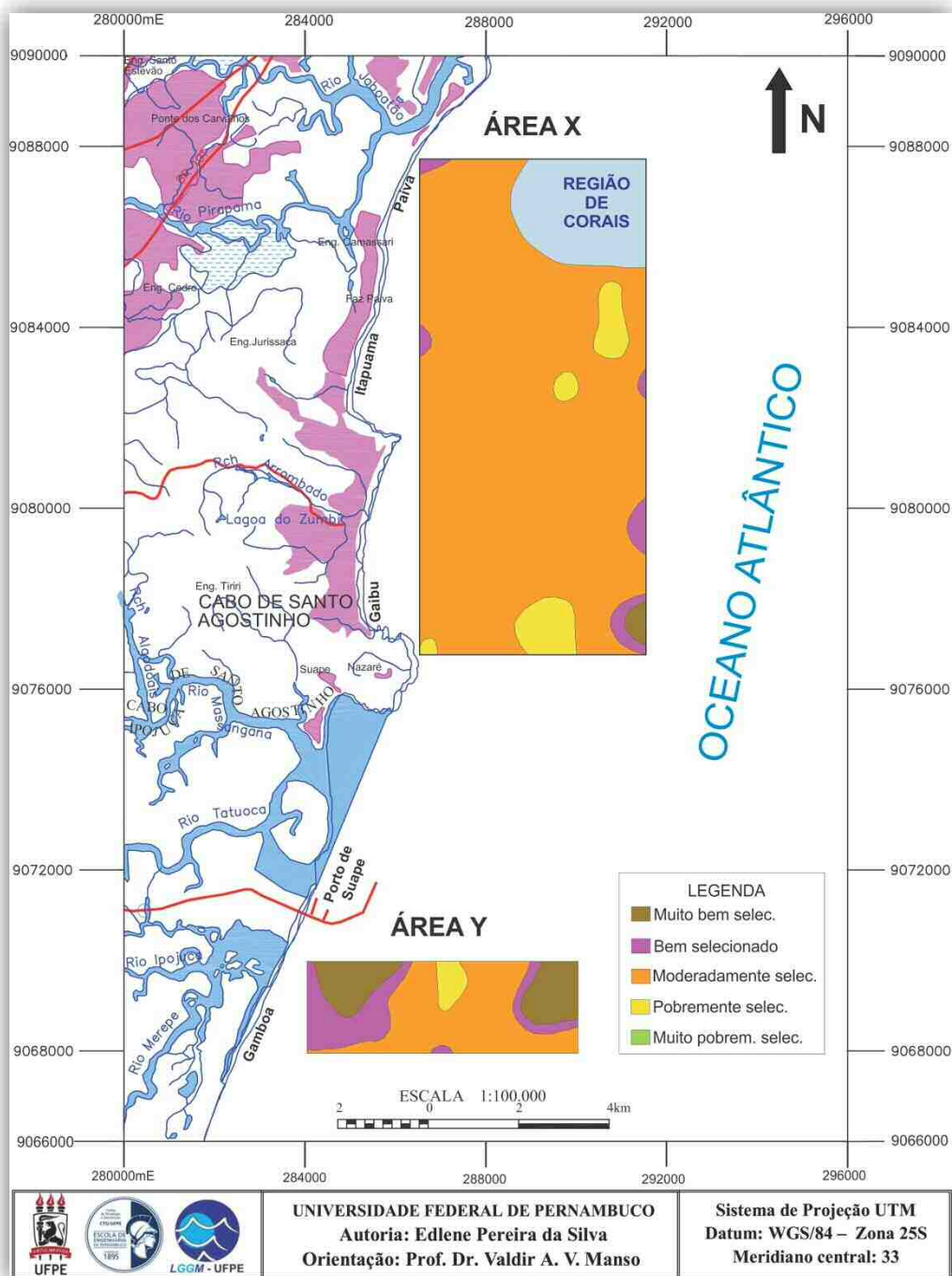


Figura 4.10 - Mapa do Desvio Padrão (distribuição do grau de seleção) dos sedimentos das áreas X e Y.

#### IV. Assimetria:

Outro parâmetro estatístico importante considerado nas análises granulométricas foi o grau de Assimetria. Segundo Suguio (1973), esse parâmetro representa a variação de afastamento (ou o desvio) entre o diâmetro médio e a mediana. Uma assimetria positiva

ocorre quando o valor do diâmetro médio é superior ao valor da mediana e caso ocorra o inverso, incide uma assimetria negativa (Jesus & Andrade, 2003). Conforme Dias (2004), as medidas de assimetria expressam o enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas grosseiras ou em partículas finas.

Graficamente, observamos que para a área X a maioria das amostras apresentam assimetria positiva (34,92%), aproximadamente simétrica (30,16% da área X) ou ainda simetria muito positiva (23,81%), (Figura 4.11). Em menores proporções ocorrem ainda amostras com assimetria negativa (9,52%) e com assimetria muito negativa (1,41%).

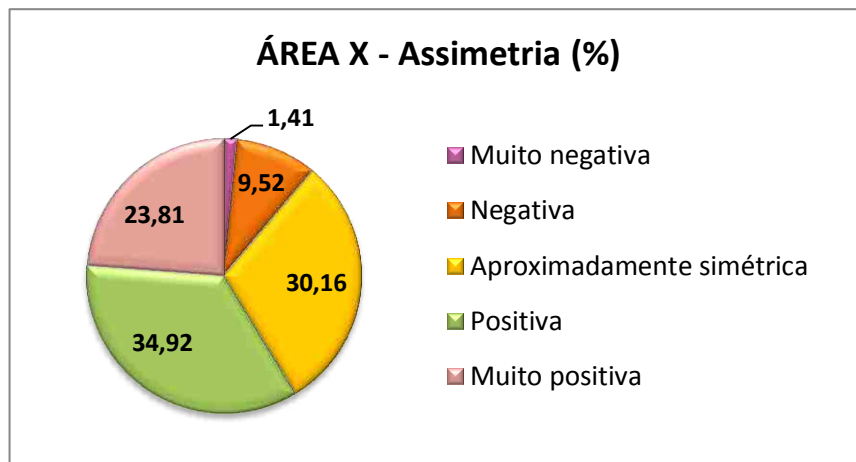


Figura 4.11 - Distribuição do percentual de assimetria da área X.

Na área Y observa-se (Figura 4.12) que as amostras apresentam predominantemente assimetria muito positiva (52,38%), seguidas em ordem decrescente por amostras nas frações: com assimetria positiva (19,05%), aproximadamente simétrica (14,29%), com assimetria negativa (9,52%) e ainda com assimetria muito negativa (4,76%).

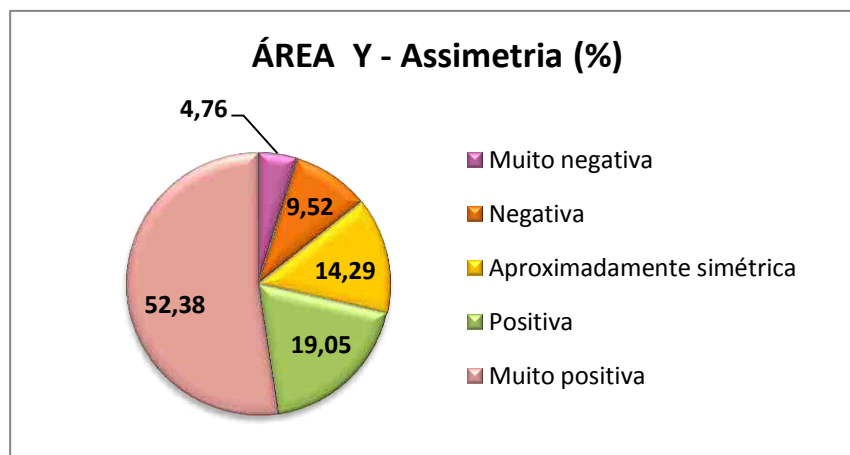


Figura 4.12 - Distribuição do percentual de assimetria da área Y.



A distribuição da assimetria nas áreas X e Y encontram-se exposta no Mapa da Assimetria mostrado a seguir (Figura 4.13).

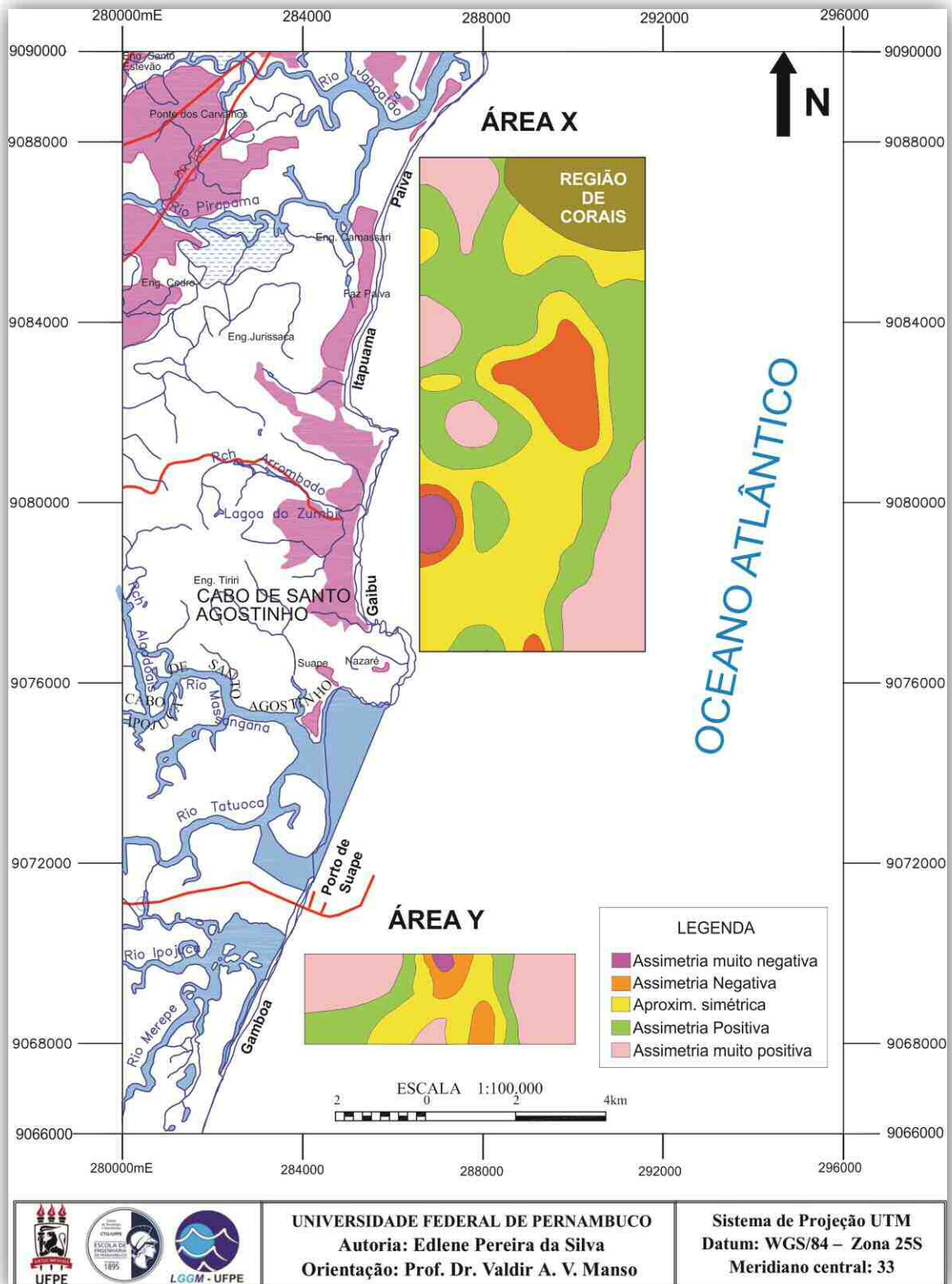


Figura 4.13 - Mapa de distribuição dos valores de Assimetria dos sedimentos das áreas X e Y.

Para a área X, os dados do mapa de assimetria apontam para a tendência de enriquecimento em partículas finas, caracterizado pela assimetria positiva, e mistura dos grãos grossos e finos, assinalada pelos valores aproximadamente simétricos. Estes resultados devem-se a carga de sedimentos finos lançada pelos rios que desembocam próximo a área estudada.

#### V. Fácies Texturais:

Depois de realizadas as análises dos parâmetros estatísticos das amostras sedimentares procederam-se os estudos das fácies texturais das áreas X e Y baseado em Shepard (1954), para complementar a caracterização da sedimentação de fundo.

Ressaltam-se inicialmente os percentuais expressos em gráficos exibidos a seguir para as duas áreas estudadas. É constatada a existência de quatro populações compondo as fácies texturais obtidos para a área X, a saber: cascalho, areia cascalhos, areia e areia lamosa. A distribuição percentual de cada uma dessas fácies se dá conforme apresentado no gráfico abaixo (Figura 4.14).

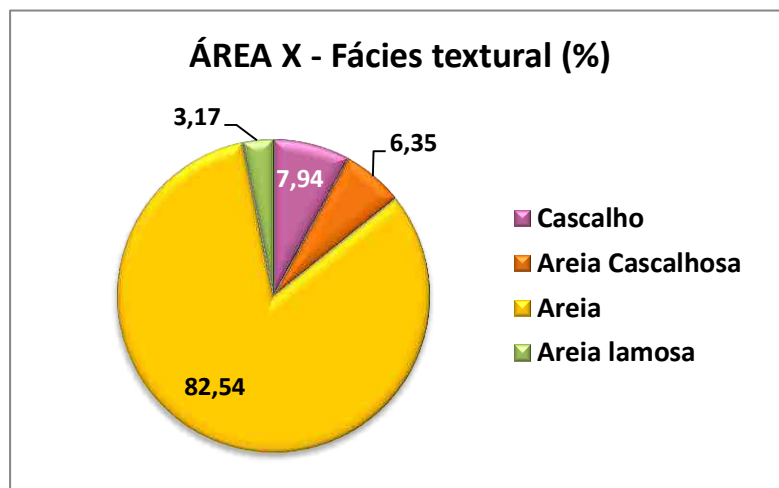


Figura 4.14 - Distribuição percentual da fácies textural observada na área X.

Observa-se a predominância da fácies textural areia, cujo percentual corresponde à quantia de 82,54% da sedimentação. Notam-se ainda pequenas ocorrências das fácies cascalho (7,94% do total) e areia cascalhosa (6,35%), além de uma presença incipiente da fácies areia lamosa, que representa 3,17% da população das fácies texturais da área X.

Para a área Y constata-se, conforme exibido no gráfico apresentado na Figura 4.15, a ausência da população da fácies areia lamosa, verificando-se ainda ser bastante expressivo e dominante o percentual da fácies textural areia cascalhosa (71,43%).

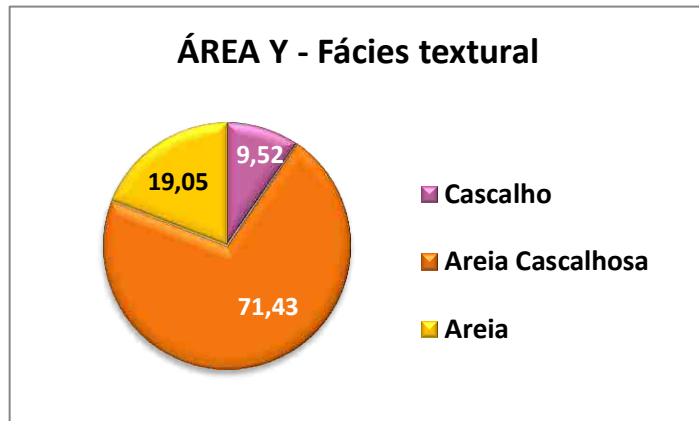


Figura 4.15 - Distribuição percentual da fácies textural observada na área Y.

Em menor quantidade encontramos a fácies areia com um percentual de 19,05% e a fácies cascalho, correspondendo a apenas 9,52% das fácies texturais.

A distribuição das fácies comentadas pode ser visualizada nos Mapas das Fácies Texturais das áreas X e Y gerados (Figura 4.16), em complemento aos estudos granulométricos apresentados.

Visualiza-se na área X a predominância da fácies areia. Destaca-se que apesar da costa pernambucana ter predominância de sedimentação carbonática, é evidenciado que especificamente nessa área a maior parte das amostras da fácies areia é composta por sedimentos siliciclásticos (quartzo, minerais acessórios).

O Mapa de Fácies gerado para a área Y apresenta como mais frequente a fácies areia cascalhosa, salientando que esta é composta basicamente por sedimentos bioclásticos misturados a sedimentos siliciclásticos.

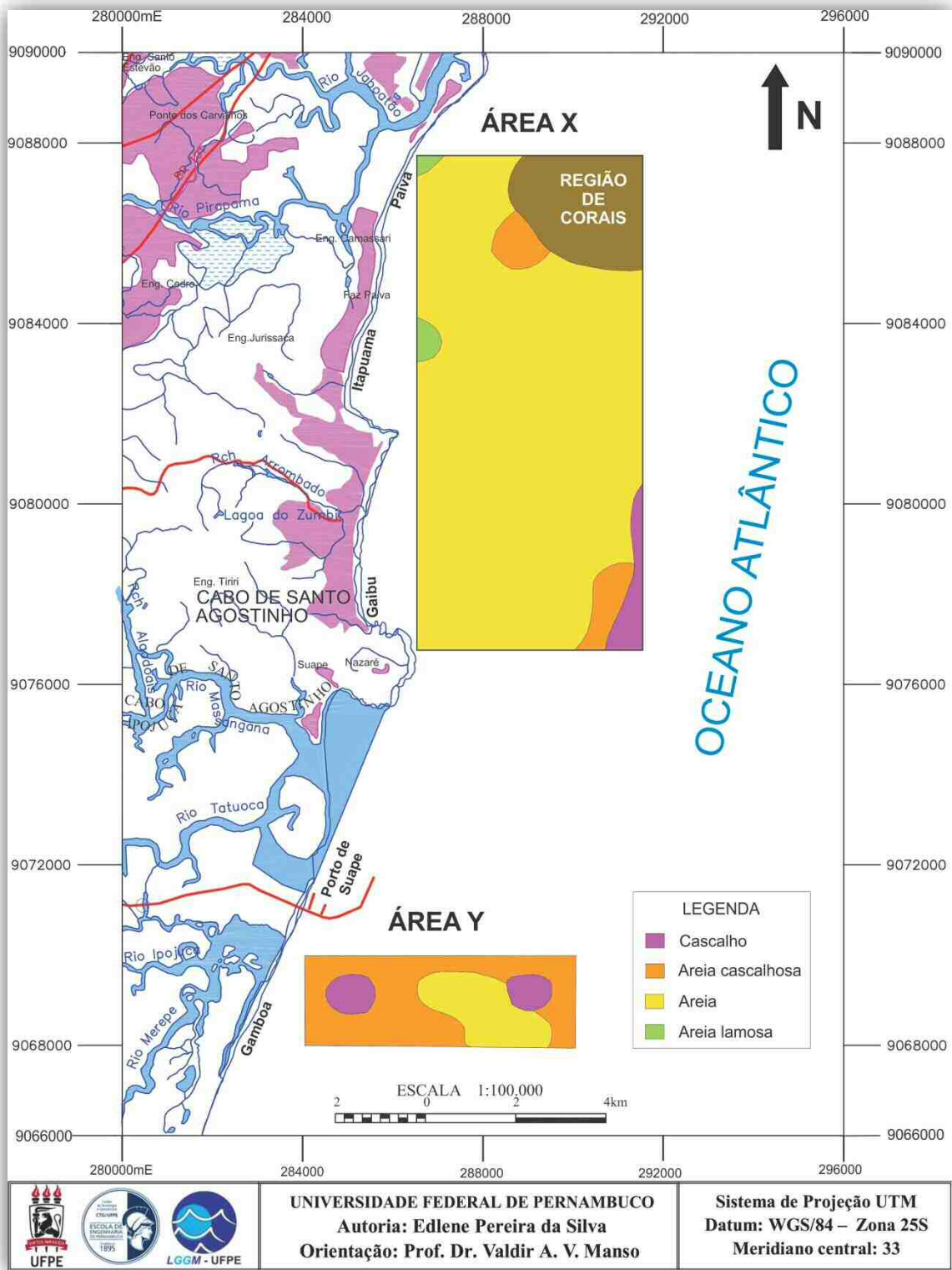


Figura 4.16 - Mapa de distribuição das Fácies Texturais sedimentares nas áreas X e Y.

Verificando todos os parâmetros estatísticos conjuntamente e os dados granulométricos, é possível tecer resumidamente as seguintes considerações:

- Os estudos dos parâmetros estatísticos granulométricos foram ponderados como atributos que elucidam o comportamento da distribuição dos sedimentos permitindo uma melhor interpretação de características da sedimentação das áreas X e Y contempladas nesse estudo.
- A análise dos parâmetros, Diâmetro Médio, Desvio Padrão, Assimetria, Curtose e também do Mapa de Fácies gerado possibilitou a compreensão de processos envolvidos com a distribuição final dos sedimentos, como a tendência do fluxo preferencial de transporte e, associada ao conhecimento geomorfológico da região, permitindo ainda fazer inferências sobre fatores condicionantes, ajudando na concepção da dinâmica sedimentar atuante nas áreas.
- Do ponto de vista de análise da sedimentação para fins de regeneração de praia, a área X mostra-se mais propensa a exploração em relação à área Y, no que diz respeito às análises granulométricas efetuadas nas áreas estudadas.
- Foram redefinidas áreas favoráveis para realização dos Levantamentos Geofísicos a partir dos resultados aqui apresentados (Figura 4.17), apontadas em função basicamente das análises dos Mapas de Diâmetro Médio e do Mapa de Fácies Textural, descartando como consequência as áreas de ocorrência de corais, granulometria maiores (fração areia muito grossa) e também aquelas menores (fração areia muito fina e areia fina), as quais fogem do interesse em servir como material de empréstimo local.
- Com os dados granulométricos obtidos conclui-se que as áreas estudadas apresentam potencial para servirem como jazidas de areia siliciclástica, por apresentarem em sua maioria o tamanho de grão compatível com finalidade de recuperação de praias erodidas.
- Basicamente, todo o sedimento de granulometria média a grossa que é disponível hoje para engordamento das praias é de origem reliquiar, visto que os sedimentos que chegam atualmente às praias através dos rios da costa, em sua maioria, são de granulometria fina a média.

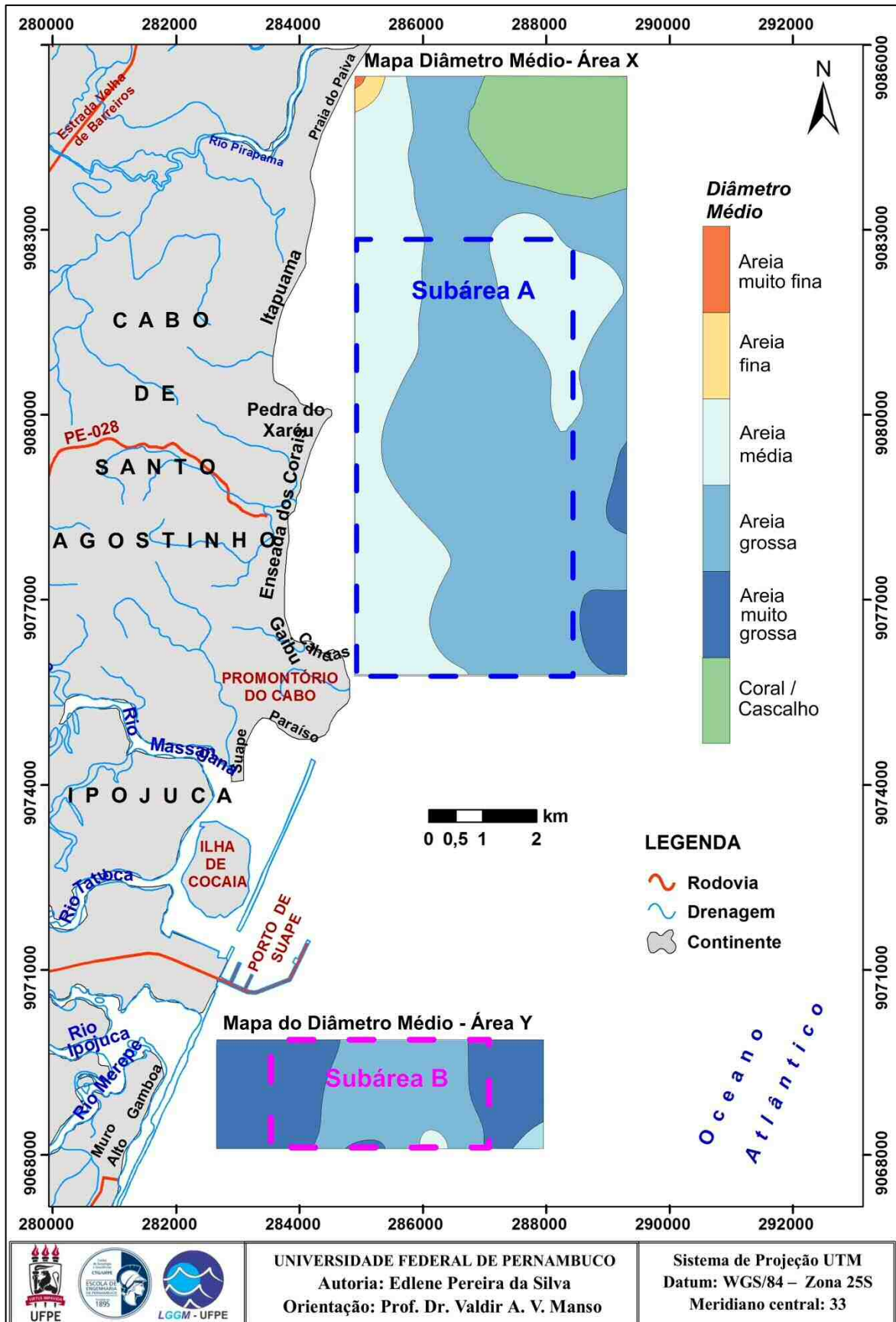


Figura 4.17 - Mapas do Diâmetro médio das Áreas X e Y com áreas A e B escolhidas para os estudos subsequentes.

#### 4.1.2 Análise Composicional Mineralógica dos Sedimentos

##### I. Resultados da Análise Quantitativa – Determinação das Concentrações do Teor de Carbonato

###### a) Teor de $\text{CaCO}_3$ nas subáreas A e B

Como resultado das análises químicas sobre a composição dos sedimentos de fundo, foram gerados os Mapas de Teores de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) das subáreas A e B, obtidos a partir da amostragem pontual, regularmente distribuída em ambas as áreas, os quais mostraram o caráter heterogêneo nesses trechos da plataforma continental interna.

Vale salientar que a aplicação da distribuição de Larssonneur (1977) foi a de mais fácil aplicação para as características das subáreas A e B, por isso aqui adotada para a determinação das concentrações do Teor de Carbonato.

De uma maneira geral, há um predomínio de sedimentos ricos em litoclásticos na subárea A (soma dos percentuais de litoclástico + litobioclástico = 76,8%), enquanto na subárea B prepondera sedimentação enriquecida em carbonato (soma dos percentuais bioclástico + biolitoclástico = 66,8%), conforme explicitado na representação gráfica das subárea A (Figura 4.18) e B (Figura 4.19).

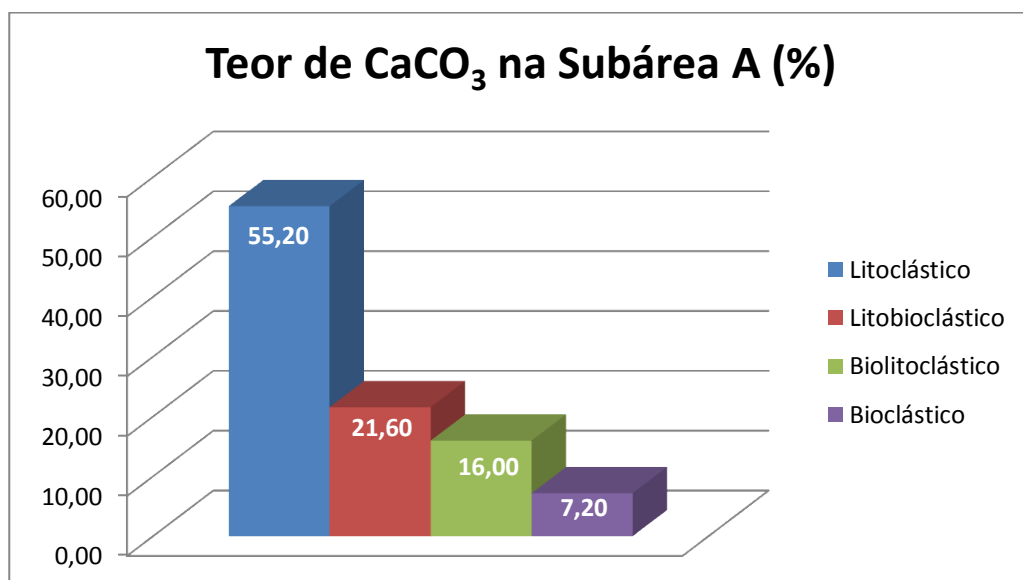


Figura 4.18 - Gráfico do Percentual dos Teores de Carbonato de Cálcio da subárea A.

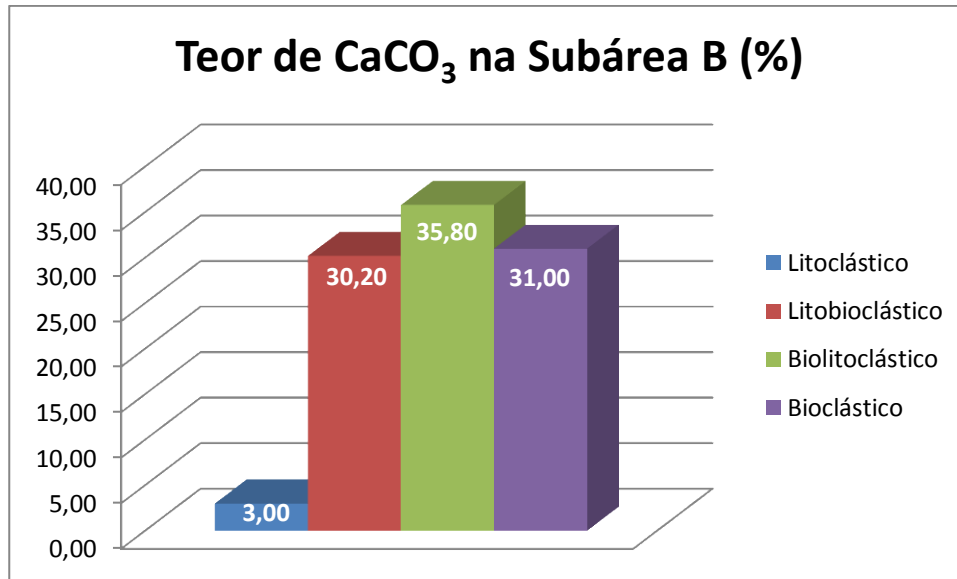


Figura 4.19 - Gráfico do Percentual do Teor de Carbonato de Cálcio da subárea B.

Além da desproporcionalidade observada quanto ao tipo de sedimentação predominante, a configuração da distribuição nas subáreas A e B são completamente diferentes, seguindo padrões bem distintos comparativamente.

Analisando os Mapas de Teores de Carbonato (CaCO<sub>3</sub>) construídos para as subáreas A e B (Figura 4.20), verificou-se que o comportamento observado em relação à distribuição do teor de CaCO<sub>3</sub> da subárea A é bastante diferenciado do que se tem na subárea B.

O mapa da subárea A mostra que ao se distanciar do continente há uma tendência de aumentar o teor de carbonato na sedimentação, enquanto o mapa da subárea B apresenta uma distribuição dos carbonatos concêntrica, em torno de duas ocorrências de litobioclásticos, o que sugere possível interferência por intervenção antrópica na região, principalmente por estar posicionada próxima do Complexo Portuário de Suape, uma região que teve sua sedimentação natural bastante alterada tanto na vizinhança costeira continental como na região submersa do entorno, passando por dragagens, desvios de rio, engordamento, derrocamento e ampliações para se adequar à instalação do porto (Madruga Filho, 2004; Figueiredo, 2008).



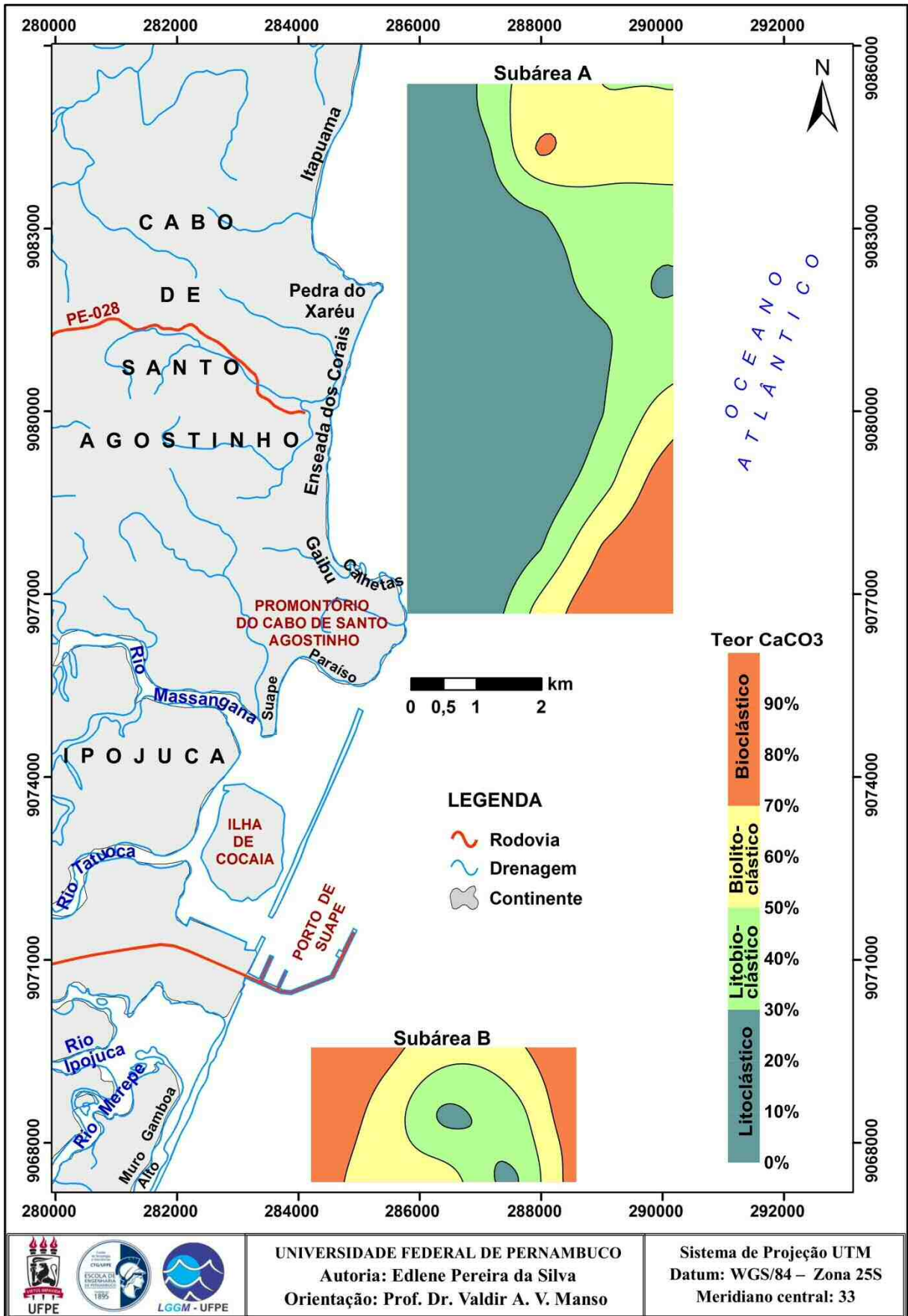


Figura 4.20 - Mapas de Teores de Carbonato ( $CaCO_3$ ) para as subáreas A e B.

A seguir encontram-se as considerações atribuídas para cada um dos mapas, ilustrados separadamente, para uma melhor visualização dos mesmos.

b) Subárea A

O Mapa do Teor de  $\text{CaCO}_3$  da subárea A (Figura 4.21) apresenta uma predominância de litoclásticos (sedimentação caracterizada por apresentar teor percentual de  $\text{CaCO}_3$  menor que 30%), ocupando 55,25% da subárea A, distribuídos ao longo de toda a região proximal à linha de costa e se estendendo na porção leste.

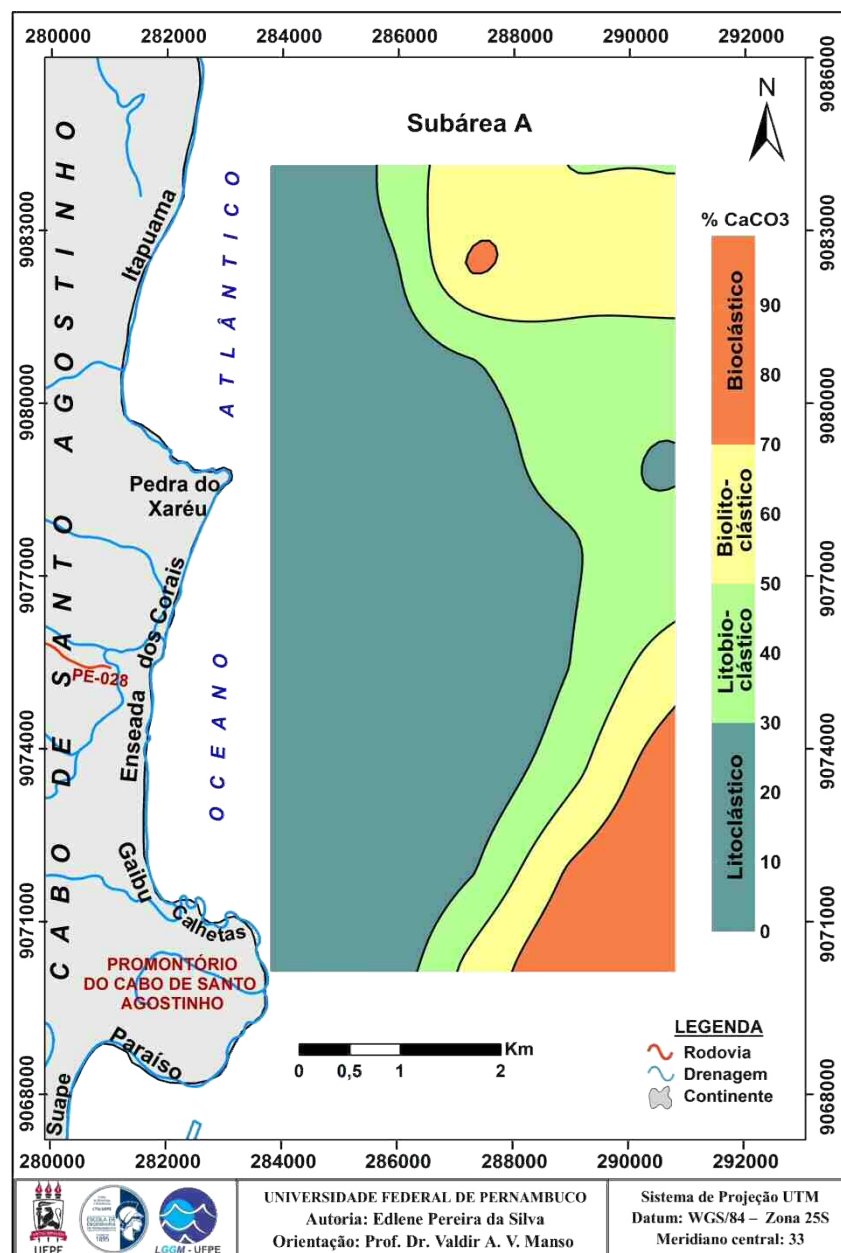


Figura 4.21 - Mapa do Teor de Carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) gerado para a subárea A.

A segunda maior ocorrência na sedimentação é dos litobioclásticos, que caracterizam sedimentos com teor de  $\text{CaCO}_3$  entre 30 e 50%, perfazendo um total de 21,65% da subárea A. Estão distribuídos contornando as ocorrências de litoclásticos e reforçam a ideia de avanço da sedimentação continental na região.

A ocorrência de biolitoclásticos recobre 16% da subárea A, estando concentrada a NE do mapa e numa faixa estreita cortando aproximadamente em diagonal o quadrante sudeste do mapa. A menor ocorrência observada é a dos bioclásticos, que representam 7,2% total da subárea A, se concentrando a sudeste, onde ocorrem as maiores profundidades. Nesta porção, as amostras analisadas apresentam valores superiores a 70% de  $\text{CaCO}_3$ .

### c) Subárea B

Na subárea B (Figura 4.22), o Mapa do Teor de  $\text{CaCO}_3$  mostra que a ocorrência de litoclásticos está restrita a duas ocorrências pontuais: uma posicionada na região central do mapa e outra na região sudeste. Juntas, essas ocorrências somam apenas 3% da sedimentação da subárea B.

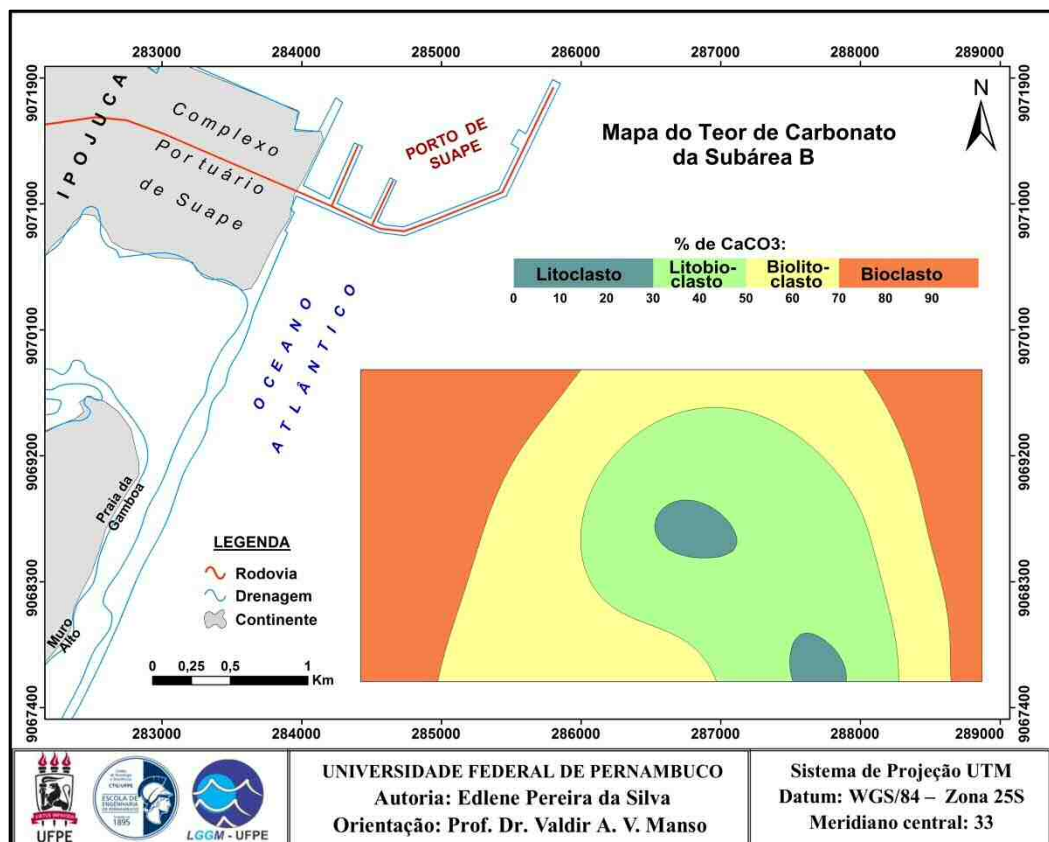


Figura 4.22 - Mapa do Teor de Carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) gerado para a subárea B.

Envolvendo essas ocorrências encontram-se os litobioclásticos, cuja área ocupada é mais expressiva, representando 30,2% da sedimentação da subárea B. Externamente às duas áreas supracitadas ocorrem as sedimentações predominantemente carbonáticas: os biolitoclásticos (sedimentos com 50 a 70% de  $\text{CaCO}_3$ ) que representam a maior ocupação de área do Mapa B, capeando 35,8% da área, e os bioclásticos (sedimentos com valores superiores a 70% de  $\text{CaCO}_3$ ), compondo 31% do total de sedimentos da subárea B, concentrando-se nas partes mais distais e também mais proximais às praias de Gamboa e Muro Alto.

Em síntese, cumpre salientar as seguintes considerações sobre a distribuição da natureza composicional dos clásticos:

- Aparentemente a distribuição das concentrações de carbonato de cálcio é influenciada pelo aumento da profundidade na subárea A de estudo, o que corrobora estudos realizados por Assis *et al.* (2007) e Madruga Filho (2004). É apresentando uma maior concentração de bioclásticos nas áreas mais profundas em detrimento de uma maior ocorrência de litoclásticos nas áreas mais rasas (ou de menor profundidade), onde ocorrem acúmulos dos mesmos formando bancos em alguns pontos.
- Observa-se o predomínio de siliciclásticos - especialmente litoclásticos (55,2%) e litobioclásticos (21,6%), segundo a classificação proposta por Larsonneur (1977) - recobrando a subárea A.
- De acordo com observações descritas acima se conclui que na subárea A, os sedimentos analisados atestam aptidão para exploração com fins de reposição de praias degradadas, visto haver predominância de material arenoso siliciclástico, o qual assegura propriedade de densidade compatível com a finalidade, sendo, portanto recomendado para recomposição de praias locais.
- O Mapa do Teor de  $\text{CaCO}_3$  demonstra um predomínio da composição sedimentar rica em carbonatos, com bioclásticos e biolitoclásticos representando juntos 66,8% da subárea B baseada na classificação do Teor de Carbonato de Larsonneur (1977).
- Ao contrário do que é observado na subárea A, a distribuição sedimentar carbonática da subárea B (posicionada a sudeste do Porto de Suape) não parece estar associada à profundidade, pois aqui se verifica preponderância indiscriminada dos carbonatos, com ocorrências em diferentes profundidades.
- De acordo com observações descritas acima, se conclui que para a subárea B, a sedimentação analisada atesta inaptidão para exploração com fins de reposição de

praias degradadas, visto que, do ponto de vista sedimentológico, o carbonato é material predominante na área o qual apresenta densidade baixa, o que o torna impróprio para fins de recomposição de praias degradadas, considerando a forte dinâmica costeira atuante.

- No trabalho de Assis (2007) é apresentado o domínio exclusivo de sedimentação carbonática para essa área, divergindo parcialmente do trabalho aqui apresentado devido ao grau de detalhamento do presente mapa. Ressalta-se, entretanto a concordância com a predominância e atribuição da origem biogênica da sedimentação carbonática dada pela autora citada, assunto tratado a seguir.

## II. Resultados da Análise Qualitativa – Classificação Macroscópica e Binocular:

### a) Classificação Macroscópica

Durante a fase inicial de trabalhos laboratório foi possível identificar a composição da sedimentação das áreas X e Y de estudo, através de uma análise prévia macroscópica das amostras brutas coletadas. A partir de então se tornou visível à distinção da sedimentação predominantemente siliciclástica, carbonática ou mesmo mista que compõe essas áreas da plataforma interna pernambucana, partindo do pressuposto que a quantidade de carbonato está diretamente relacionada à presença de sedimentos biogênicos observada nas amostras.

A partir dessas análises, foi detectada para a área X a predominância de siliciclastos sobre os bioclastos, ilustrada nas Figuras de 4.23 a 4.26; o inverso ocorre na área Y, conforme detalhado nas análises sedimentares qualitativas e apresentado nas Figuras 4.27 a 4.30.



Figura 4.23 - Amostra 45: formada predominantemente por sedimentação terrígena siliciclástica da área X.



Figura 4.24 - Amostra 54: sedimentação predominantemente terrígena siliciclástica da área X.



Figura 4.25 - Amostra 24: Sedimento terrígeno siliciclástico da área X, mostrando estrutura em blocos.



Figura 4.26 - Amostra 58: sedimentação predominantemente carbonática da área X.



Figura 4.27 - Amostra 80: formada dominantemente por sedimentos biogênicos na área Y.



Figura 4.28 - Amostra 88: Predomínio de sedimentos carbonáticos pertencentes à área Y.



Figura 4.29 - Amostra 83: Sedimentação litobioclástica da área Y, com fração biogênica dispersa.



Figura 4.30 - Amostra 92: sedimentação predominantemente bioclástica da área Y.

O material siliciclástico é formado principalmente por grãos de areias quartzosas com diferentes colorações, de acordo com a composição (Figura 4.31), enquanto os bioclásticos são compostos predominantemente por carapaças (exoesqueletos) carbonáticas diversas e algas dos tipos *Halimeda* (algas calcárias clorofíceas) e *Lithothamnium* (algas calcárias vermelhas

coralíneas) dentre outros (Figuras 4.32 e 4.33), as quais ocorrem em variadas dimensões e proporções, de acordo com a localização e profundidade da amostra coletada.

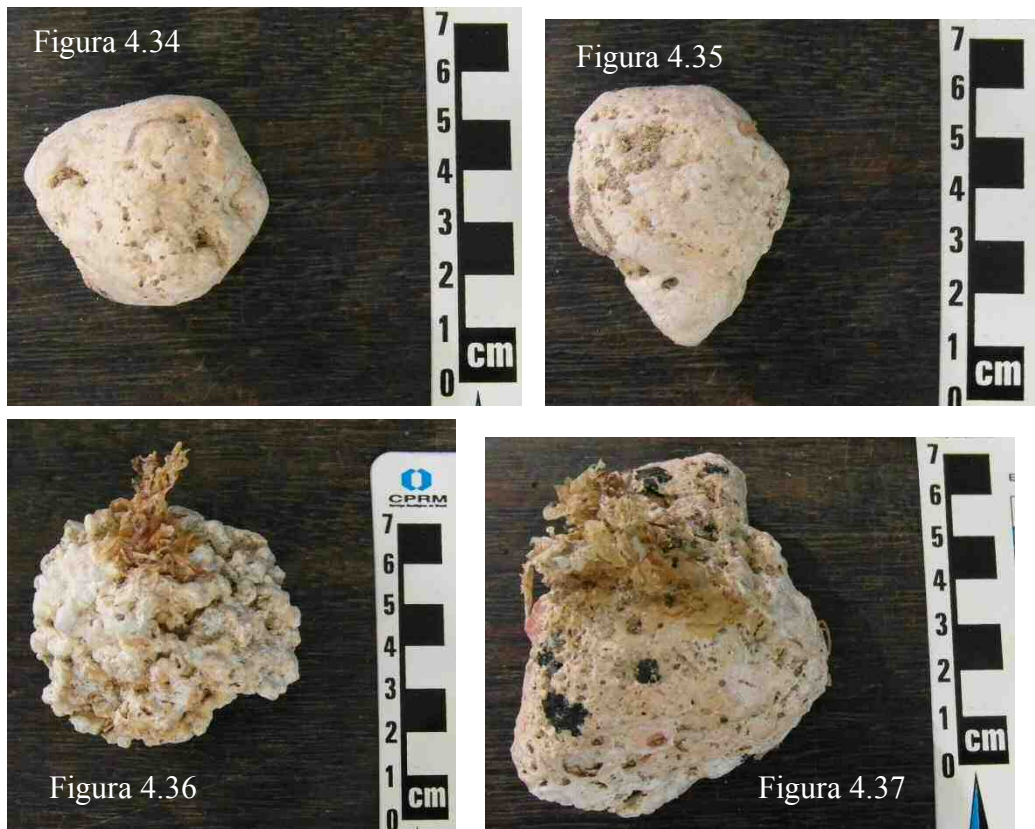


Figura 4.31 - Amostras formadas predominantemente por sedimentação siliciclástica – mostrando as diferentes colorações das areias quartzosas das áreas de estudo.



Figuras 4.32 e 4.33 - Amostras formadas predominantemente por sedimentação carbonática – Presença de fragmentos de exoesqueletos, conchas e carapaças diversas e algas calcárias.

Segundo Manso *et al.* (2003), as algas formam o principal componente bioclástico do fundo marinho na plataforma continental de Pernambuco e, nas áreas X e Y estudadas, são representadas pelas algas supracitadas. Através do registro amostral coletado, puderam ainda ser assinaladas ocorrências pontuais de nódulos de algas calcárias na forma de rodolitos (Figuras 4.34 a 4.37), distribuídos nas áreas. Caracteristicamente os rodolitos apresentam formas livres (*free-living*) (Lopes, 2009), sendo facilmente coletados através de dragagens pelo fato de constituem depósitos sedimentares inconsolidados (Dias, 2001).



Figuras 4.34 a 4.37- Algas calcárias na forma de rodolitos presentes nas amostras coletadas.

Estas algas constituem um recurso natural valioso, quando em circunstâncias economicamente favoráveis à exploração, pois, reservas de rodolitos representam uma importante fonte de calcário com grande potencial econômico para uso agrícola como fertilizante e corretor de solos ácidos (principal aplicação), além de serem utilizadas em diversas aplicações, tais como: potabilização de águas para consumo, indústria de cosméticos, dietética, implantes em cirurgia óssea, nutrição animal e tratamento da água em lagos (Dias, 2001).

#### b) Classificação Binocular

Através da análise visual das amostras com o uso de lupa binocular, foram separadas, identificadas e registradas em fotografias as principais frações biogênicas e litoclásticas que compõem a sedimentação de fundo das áreas em estudo, na granulometria em torno de 1 mm. No Anexo 2 encontra-se o registro fotográfico detalhado dos principais tipos de bioclastos encontrados nessas análises.



A composição mineralógica qualitativa das áreas X e Y mostrou uma variedade mineralógica pouco expressiva, com predominância de grãos litoclásticos, (principalmente na área X). Dentre as amostras analisadas, foram encontradas principalmente as variedades: grãos de quartzo (hialino, leitoso, com óxido/hidróxido de ferro) (Figuras 4.38-4.41), fragmentos líticos (Figura 4.42), minerais siliciclásticos (Figura 4.43), agregados de minerais com cimentação carbonática (Figuras 4.44 e 4.45), sedimentos escuros possivelmente reliquias (Figuras 4.46 – 4.48) e presença de fração biótica (bioclásticos) detalhada a seguir.



Figura 4.38- Sedimentação siliciclástica da área Y: grãos de quartzo diversos. Prof. 18,59-18,89 m.



Figura 4.39- Sedimentação siliciclástica da área Y: grãos de quartzo diversos. Prof. 17,34 m



Figura 4.40 - Sedimentação siliciclástica da área X: grãos de quartzo hialino. (Profund.12,20 m)



Figura 4.41 - Sedimentação siliciclástica da área X: quartzo com óxidos/hidróxidos de ferro (Prof. 12,20 m).

Segundo Assis (2007) os grãos de quartzo hialinos são o registro de sedimentação moderna, enquanto os grãos de quartzo revestidos por película de material argilo-ferruginoso são citados na literatura como sedimentos reliquias.



Figura 4.42- Sedimentação área X: fragmentos líticos. (Profundidade 12,20 m)



Figura 4.43- Sedimentação área X: grãos de sílica (Profundidade 12,20 m)



Figura 4.44 - Agregados de minerais com cimentação carbonática. (Área X; Prof. 14,82 m)



Figura 4.45 - Agregados de minerais com cimentação carbonática. (Área X; Prof. 9,48 m)



Figuras 4.46, 4.47 e 4.48- Sedimentação da área Y: possíveis Minerais Reliquiários (Profundidade 17,34 m)

Dentre a variedade de bioclásticos encontrados em amostras examinadas de ambas as áreas, destaca-se como marcante a presença de algas dos tipos *Halimeda* e *Lithothamnium* (Figuras 4.49 e 4.50 respectivamente), foraminíferos de diversas cores (Figura 4.51), briozoários (Figura 4.52), corais (Figura 4.53), conchas de bivalves (Figura 4.54), conchas de

moluscos (Figura 4.55), placas de equinodermos (Figura 4.56), espinhos de ouriço (Figura 4.57), além de outras variedades melhor ilustradas no Anexo 2.



Figura 4.49- Algas dos tipos *Halimeda* presentes na área Y (Profundidade 17,34 m)



Figura 4.50 - Algas dos tipos *Lithothamnium* presentes na área Y (Profundidade 17,34 m).



Figura 4.51- Foraminíferos presentes na área Y (Profundidade 17,34 m).

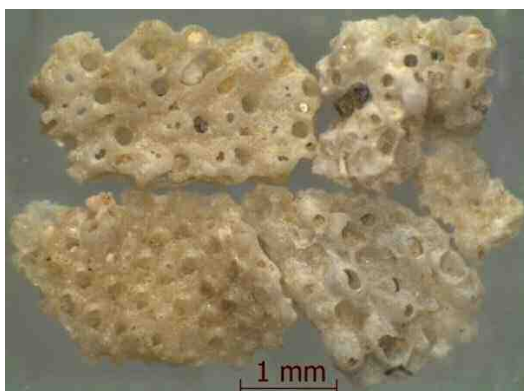


Figura 4.52 - Briozoários encontrados na área Y (Profundidade 17,34 m).



Figura 4.53 - Corais Escleractíneos solitários presentes na área X (Profundidade 17,34 m).

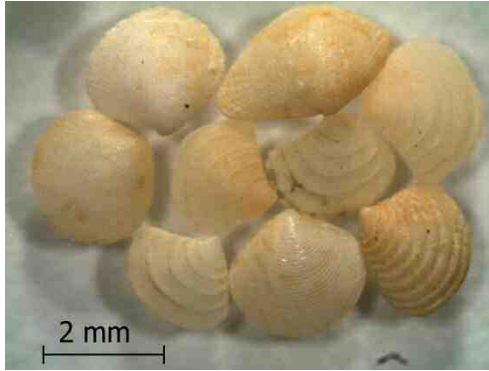


Figura 4.54- Conchas de Bivalves encontrados na área X (Profundidade 11,75 m).



Figura 4.55- Conchas de Moluscos na área X (Profundidade aproximada: 17,34 m).

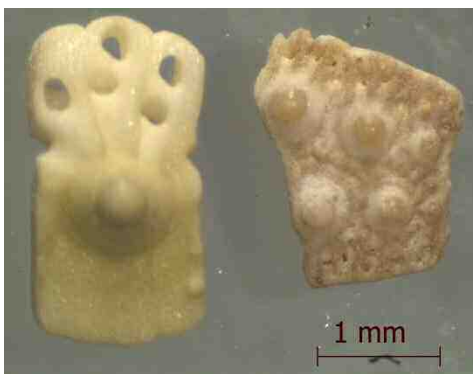


Figura 4.56- Placas de equinodermos na área X (Profundidade 17,34 m).



Figura 4.57- Equinodermos: Fragmentos de espinhos de ouriço (Profundidade 17,47 m).

Curiosamente foram encontradas clastos interessantes, como grão de quartzo em formato bipiramidal (Figura 4.58) e *Halimeda* jovem (Figura 4.59 e 4.60) em pontos da área Y, conchas de bivalve inteira e articulada (Figuras 4.61 e 4.62 respectivamente) na área X, indicando se tratar de um ambiente de muito baixa energia. Em outros pontos, foram encontradas conchas fragmentadas, sugerindo maior energia no ambiente.



Figura 4.58 – Grão de quartzo com formato bipiramidal. (Prof. 17,34 m).



Figuras 4.59 e 4.60 – *Halimeda* jovem (Esq.) frente (Dir.) Verso. (Profundidade 17,34 m).



Figura 4.61 - Conchas de bivalve inteiras e articuladas encontradas na área X (Profundidade 11,75 m).



Figura 4.62- Detalhe de concha articulada, indicativa de ambiente de baixa energia (Profundidade 11,75 m).

## 4.2 ANÁLISE DE FEIÇÃO DE FUNDO POR MEIO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Complementando os estudos propostos, usaram-se dados de satélite para obter informações adicionais sobre o assoalho marinho. Na análise das imagens buscaram-se, no contexto regional, evidências da existência de bancos de areia nas subáreas A e B.

Considerando-se as limitações já comentadas acerca do Sensoriamento Remoto aplicado às análises de áreas oceânicas (Kampel, 2002; Souza, 2003), observa-se de maneira geral que as imagens fornecem boas informações sobre o fundo marinho, perceptíveis através de diferenças de colorações, tonalidades, sombras, textura e contexto geológico das regiões oceânicas estudadas.

Com base na carta-imagem de satélite Landsat-7-TM de 29/05/2000 com recorte do continente e ajustes de contraste e brilho (Figura 4.63), notam-se setores que aparentam movimento na sedimentação de fundo, refletindo a presença de processos hidrodinâmicos ativos recentes ao longo da plataforma continental. Considera-se ainda a interação de parâmetros como rios de pequeno porte que deságuam na plataforma, interferências antrópicas (região portuária), além do contexto tectônico local. A influência mútua desses fatores altera a morfodinâmica, podendo contribuir para a modificação, formação e estabilização de bancos sedimentares nas subáreas A e B de estudo.

Ressalte-se que a remobilização natural de sedimentos de fundo é constante e realizada pela ação conjunta das marés, ondas e correntes, em resposta à deriva litorânea local, e sofre influência da profundidade e da presença de estruturas naturais existentes, como barreiras, recifes, canais, banco de dunas, bancos de areia, ou artificiais como a construção de *piers* ou molhes, dentre outros, podendo estas alterar a fixação dos mesmos em alguns trechos.

Na carta imagem apresentada na Figura 4.63 (sem filtragem), observa-se que a subárea A, quando comparada à subárea B, encontra-se posicionada mais próxima à linha de costa e possivelmente apresenta profundidades menores.

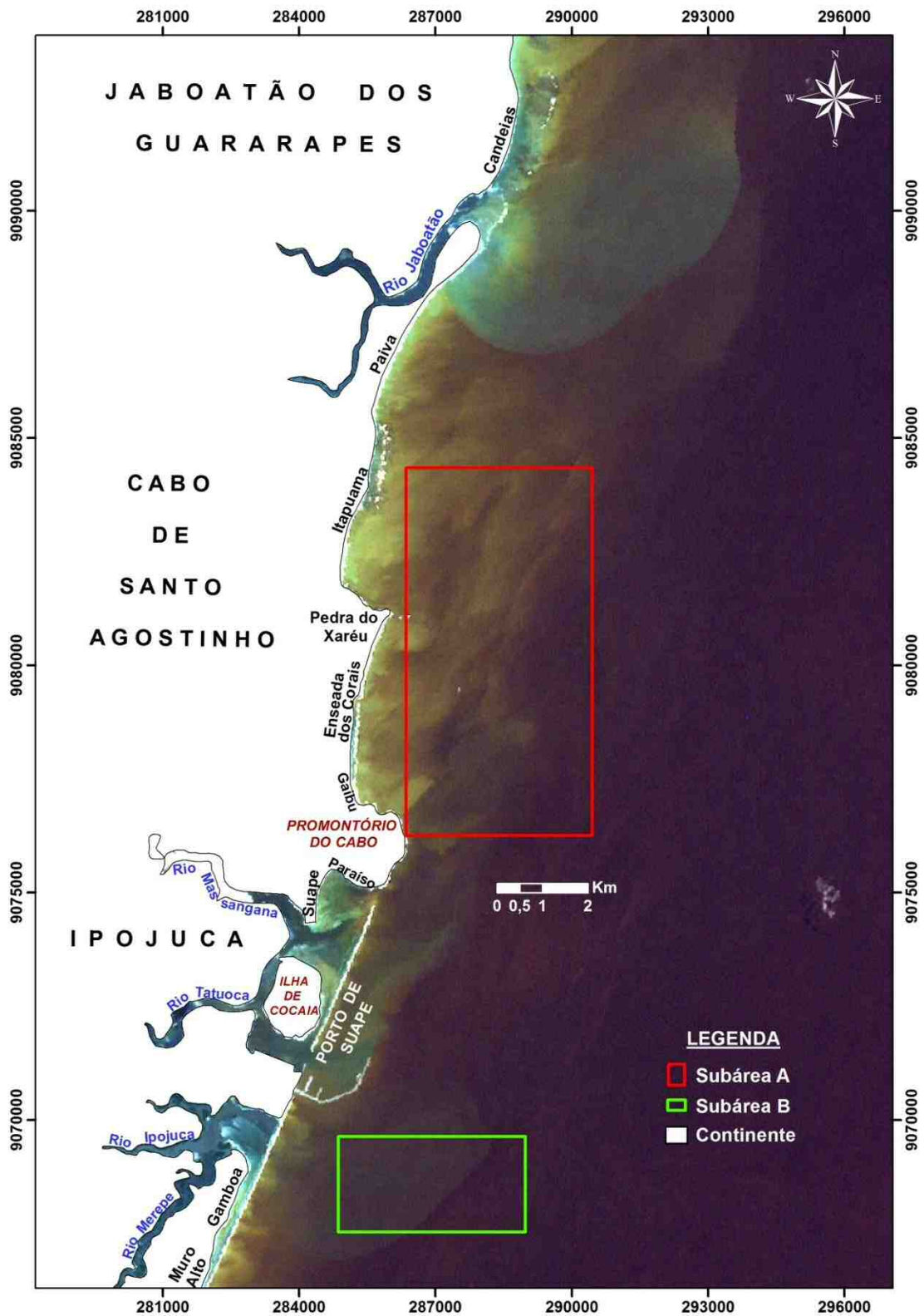


Figura 4.63 - Carta imagem de satélite com recorte do continente, ajuste de contraste, brilho e localização das subáreas A e B.

Esse fato, confirmado adiante com os resultados da Batimetria, carta náutica e resultados de perfuração de poços testemunhados, justificaria em parte a melhor visibilidade da subárea A, onde a variação de cor é mais visível, apesar da pequena diferença de limites de profundidade entre as duas.

Fazendo uma análise da imagem pré-processada com realce e ajuste de contraste (Figura 4.63) e posteriormente com aplicação de filtros direcionais (Figuras 4.64 e 4.65), é possível identificar as características abaixo listadas:

- Plumas de sedimentos em suspensão próximas à desembocadura de rios no mar:

Ao norte da subárea A identifica-se a presença de uma grande pluma de sedimento em suspensão, na região onde deságua o Rio Jaboatão. Esta atinge uma distância de mais de 6 km mar adentro, destacada em tons esverdeados na Figura 4.63 e amarelados na Figura 4.64, exibindo um espalhamento em função das forças hidrodinâmicas resultantes (deriva litorânea) da região, cujo sentido é de sul para norte. Já a subárea B, localizada defronte à foz dos Rios Ipojuca e Merepe, apresenta uma pluma menos expressiva e melhor delimitada (Figura 4.64), com o mesmo *trend* da subárea A. Ressalte-se, entretanto, que esta apresenta uma coloração relativamente mais escurecida, possivelmente devido: à distância da foz dos rios que a originaram; presença de partículas minerais em suspensão associada à composição das águas; e/ou, ainda, propriedades de reflexão do material ali contido, junto ao fundo local.

- Estruturas consolidadas:

Identificadas de modo indireto, as estruturas consolidadas foram associadas neste trabalho à assinatura espectral típica deste tipo de alvo – coloração branca, resultante da alta refletância – o que as tornam mais facilmente visíveis, principalmente nas Figuras 4.63 e 4.65. Também foi possível detectar sombra associada a essas estruturas, produto da análise por filtragem direcional.

No contexto regional foram constatadas as presenças das estruturas: recifes, rochas (*beachrock*) e barreiras (diques) naturais e/ou artificiais, nas proximidades das praias de Itapuama, Enseada dos Corais, Muro Alto e Gamboa, assim como formações rochosas adjacentes à praia de Pedra do Xaréu. Cita-se ainda o molhe do Porto de Suape, um dique artificial construído ao lado de uma barreira natural representada pela linha de recifes areníticos – um dos maiores recifes retilíneos do mundo, com aproximadamente 8 km de extensão (Bellia, 1974) – de modo a facilitar a entrada de navios no porto.

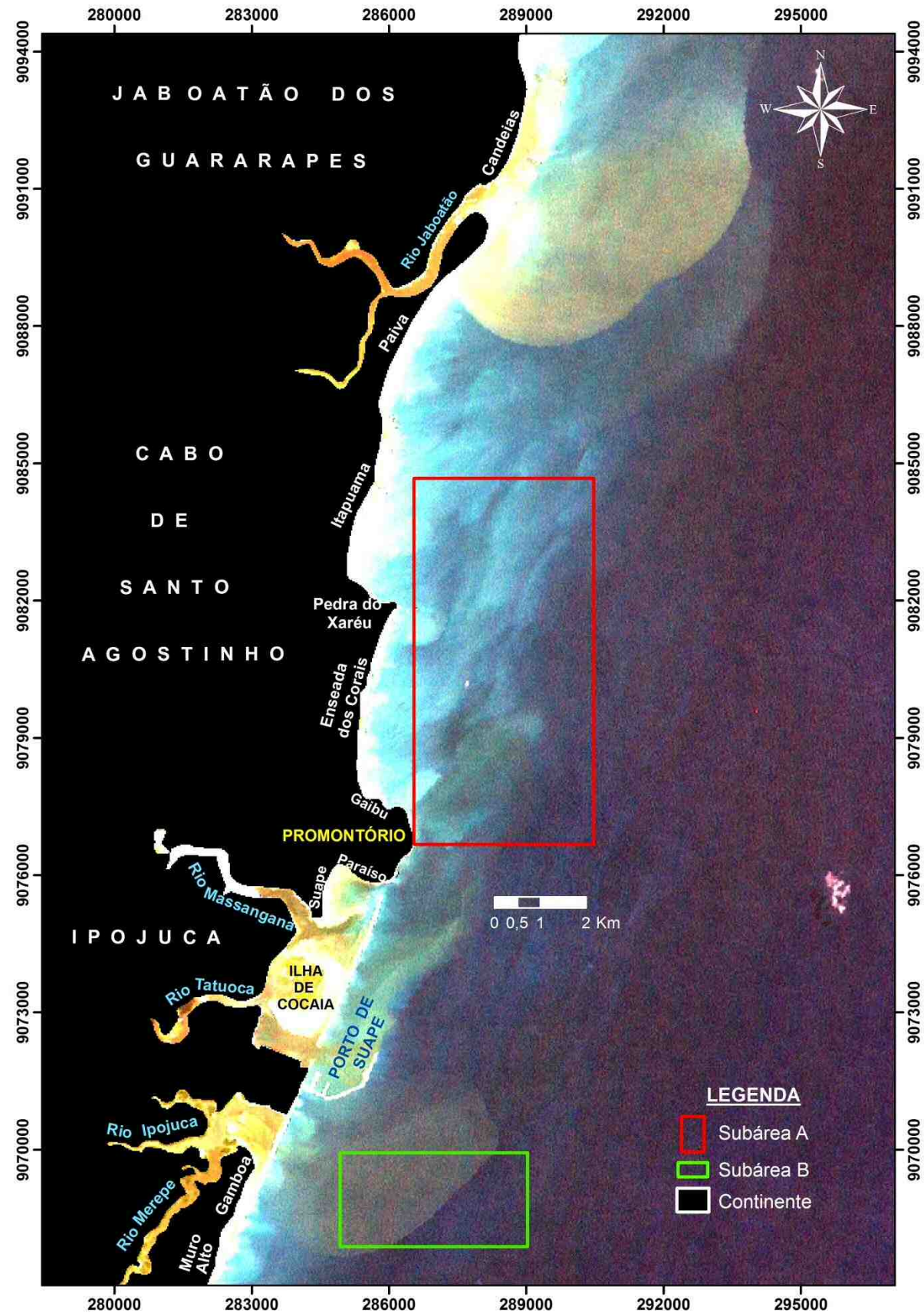


Figura 4.64 - Localização das subáreas A (em vermelho) e B (em verde), usando a imagem de satélite com ajuste de histograma e filtros direcionais, inclinação solar de 0°.

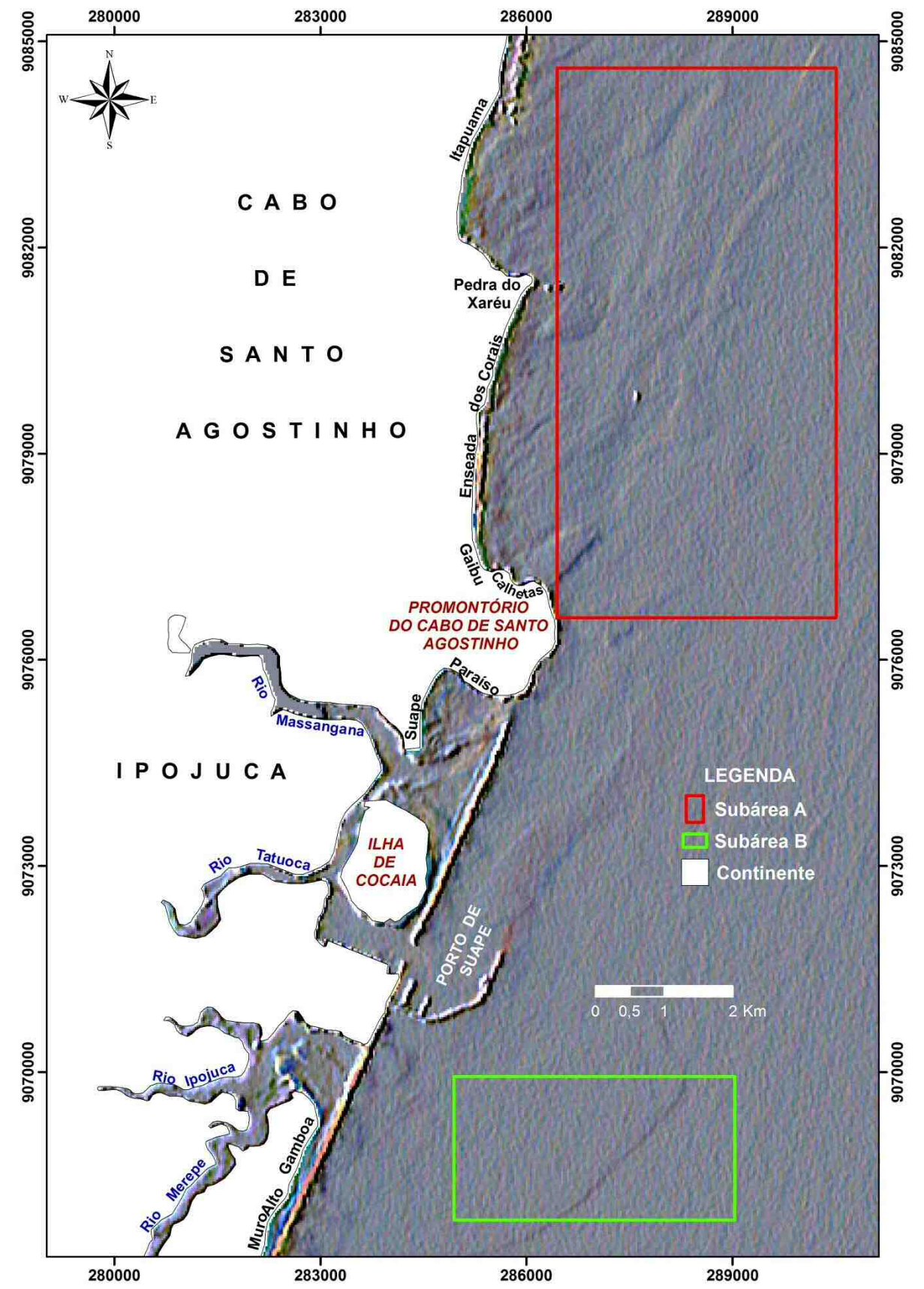


Figura 4.65 - Destaque das subáreas A (em vermelho) e B (em verde), sobre imagem de satélite tratada com filtros direcionais e inclinação solar de 45°.



Na subárea A (Figura 4.65) percebem-se discretas ocorrências rochosas na imagem. Algumas chegam a aflorar em períodos de maré baixa; por exemplo, uma pequena estrutura isolada na região central, posicionada cerca de 2 km mar adentro na praia de Enseada dos Corais, com profundidades em torno de -8,9 m e outras duas no limite W-NW, localizadas nas adjacências da praia de Pedra do Xaréu a aproximadamente 200 e 300m *offshore* e com profundidades próximas de -9,3m. Tais estruturas identificadas na imagem correspondem a formações conhecidas e também presentes na costa, denominadas de ‘Pedras Pretas’ devido à coloração assumida pelos traquitos.

- Formas observadas com aspecto alinhado:

Nas imagens das Figuras 4.63 e 4.64, observam-se variações locais na coloração ao longo da região oceânica e, em alguns trechos correspondentes da Figura 4.65 nota-se certa rugosidade na textura. Esses padrões apresentam aspecto de movimentação de sedimentos em suspensão, podendo também caracterizar ‘formas’ ou variações na morfologia, ou ainda representar a interação desses dois fatores, que estão mais bem caracterizados na comparação com dados de Batimetria, discutidos no Capítulo 4.

As principais formas observadas nas imagens são descritas a seguir, apresentando um nítido *trend* de direção aproximada SO-NE:

- Em geral nas regiões mais próximas do continente (Figuras 4.63 e 4.64) é perceptível uma gradação de cores variando de tons mais claros a mais escuros *offshore*, conforme vai aumentando a profundidade. Nota-se na Figura 4.65 que as rugosidades da textura concentram-se nas áreas proximais, principalmente na parte superior e na região inferior conforme detalhado a seguir;
- A região do Porto Interno onde se situa o canal de navegação para entrada/saída de navios e os berços de atracação do Porto de Suape (Suape, 2012) apresenta coloração mais clara (tons de verde, na Figura 4.63 e de amarelo na Figura 4.64) com aspecto de predomínio de material continental em suspensão devido à estrutura de bloqueio (“braço do porto”) que desvia a corrente para uma região mais profunda, obstando o processo natural da corrente de deriva e causando uma região de calmaria na parte interna estrutura artificial. Na Figura 4.65 essa região apresenta aspecto de presença de uma elevação suave (forma em alto relevo) a qual se prolonga para NNE.
- Internamente à subárea A, a nitidez da imagem diminui para sudeste, apresentando diferentes tons entre o amarelado e o marrom (Figura 4.63), equivalente a tons de azul

na Figura 4.64. Verifica-se na Figura 4.65 que os trechos correspondentes da subárea A apresentam aspecto de ‘rugosidades’ próximo do continente e desaparecem dando lugar a uma textura relativamente uniforme na direção sudeste.

- Nas adjacências das praias de Calhetas e Pedra do Xaréu visualizam-se na Figura 4.63 duas regiões pontuais, destacadas em tons mais amarelados. A primeira expressa fortemente o *trend* SO-NE, iniciando na linha de costa e se alonga para NE com dimensão de aproximadamente 1,1 km. A segunda aparenta forma subarredondada com diâmetro médio em torno de 900 m, distando aproximadamente 500 m da costa. Ambas apresentam-se em alto relevo na Figura 4.65, embora a primeira apresente expressão mais forte do alinhamento (*trend* SO-NE) em sua porção sudeste.
- Na Figura 4.63, a subárea B apresenta-se praticamente imperceptível, sendo mais bem destacada na variação espectral da Figura 4.64, em tons de amarelo azulado. Essa porção possivelmente representa o limite sudeste da pluma de sedimento em suspensão formada na foz dos rios Ipojuca e Merepe, podendo-se ainda atribuir a correspondente cor escura na Figura 4.63 a propriedades de reflexão do material ali contido. Essa distorção é mais bem evidenciada na Figura 4.65, em que é discretamente visível rugosidade em forma de alinhamento com direção SO-NE que marca o limite da mancha acinzentada (Figura 4.63) e/ou pluma citada.

De maneira geral, as variações espectrais das imagens e/ou rugosidades observadas na textura sugerem as subáreas A e B como potenciais para a existência de bancos de areia na superfície oceânica – apontando-as, portanto, para investigação por métodos geofísicos.

Corroborando estudos anteriores, é possível afirmar que a contribuição sedimentar terrígena do continente para a Plataforma Continental Interna da subárea A é baixa e provém do estuário do Rio Jaboatão, situado a norte da mesma (Madruga Filho, 2004 e Assis, 2007) e dos Rios Merepe e Ipojuca para a área B, sendo, no entanto bem menos expressivo.

Detectaram-se ocorrências de diversas estruturas rígidas ao longo da região visível das imagens e foram observadas diferentes feições (ou formas), com *trend* de direção aproximada SO-NE, provavelmente indicativas do sentido de transporte e superimposto pelo sentido da corrente de deriva (de sul para norte), atuante na região (Madruga Filho, 1999; *id.*, *id.* 2004).

### 4.3 ESTUDOS GEOFÍSICOS

A prospecção geofísica baseia-se na investigação de feições da superfície e sub-superfície, de dimensões variadas, a partir da observação de seus efeitos nos campos físicos e na propagação de ondas (Luiz & Silva, 1995). Este trabalho foi desenvolvido utilizando os Métodos Geofísicos Batimetria, Sonografia e Sísmica de Reflexão (correção, processamento, modelagem e interpretação), os quais se apresentam como boas ferramentas que forneceram preciosas informações para compreensão de ambientes marinhos.

#### 4.3.1 Resultados do Levantamento Sísmico

A resposta fornecida pelo método foi insatisfatória, devido à má qualidade do sinal obtido pós-processamento, porquanto não mostrou o embasamento sísmico por motivos de inadequação do uso do equipamento na investigação de sedimentos nas frações granulométricas predominantemente arenosas existentes na área. Descobriu-se, todavia, que o equipamento é adequado para estudo de cobertura sedimentar em frações granulométricas finas, pelíticas, nas quais é possível a visualização do arranjo sedimentar, possibilitando a distinção entre as camadas e a detecção de estruturas, quando presentes.

#### 4.3.2 Resultados do Levantamento Batimétrico

A partir do processamento dos dados batimétricos foram gerados os Mapas ou Cartas Batimétricas de Contorno das subáreas A e B estudadas, apresentado isóbatas em metros, e representadas em escalas gráficas distintas para cada mapa (Figura 4.66). Ressalta-se que as escalas gráficas apresentam gradações de cores similares, porém, as profundidades que representam são diferentes para cada mapa.

Além dos Mapas Batimétricos da Figura 4.66, foram obtidos para cada área os Mapas de Declividades e os Modelos Digitais do Terreno (MDT) 3D, a fim de revelar a morfologia do fundo, tornando possível uma melhor visualização, identificação e realce das principais feições físicas existentes. A partir desses produtos, conjuntamente com dados dos Mapas Batimétricos, foi possível estabelecer algumas considerações sobre o relevo submarino, bem como dos processos envolvidos na construção de feições e estruturas identificadas nas áreas pesquisadas.

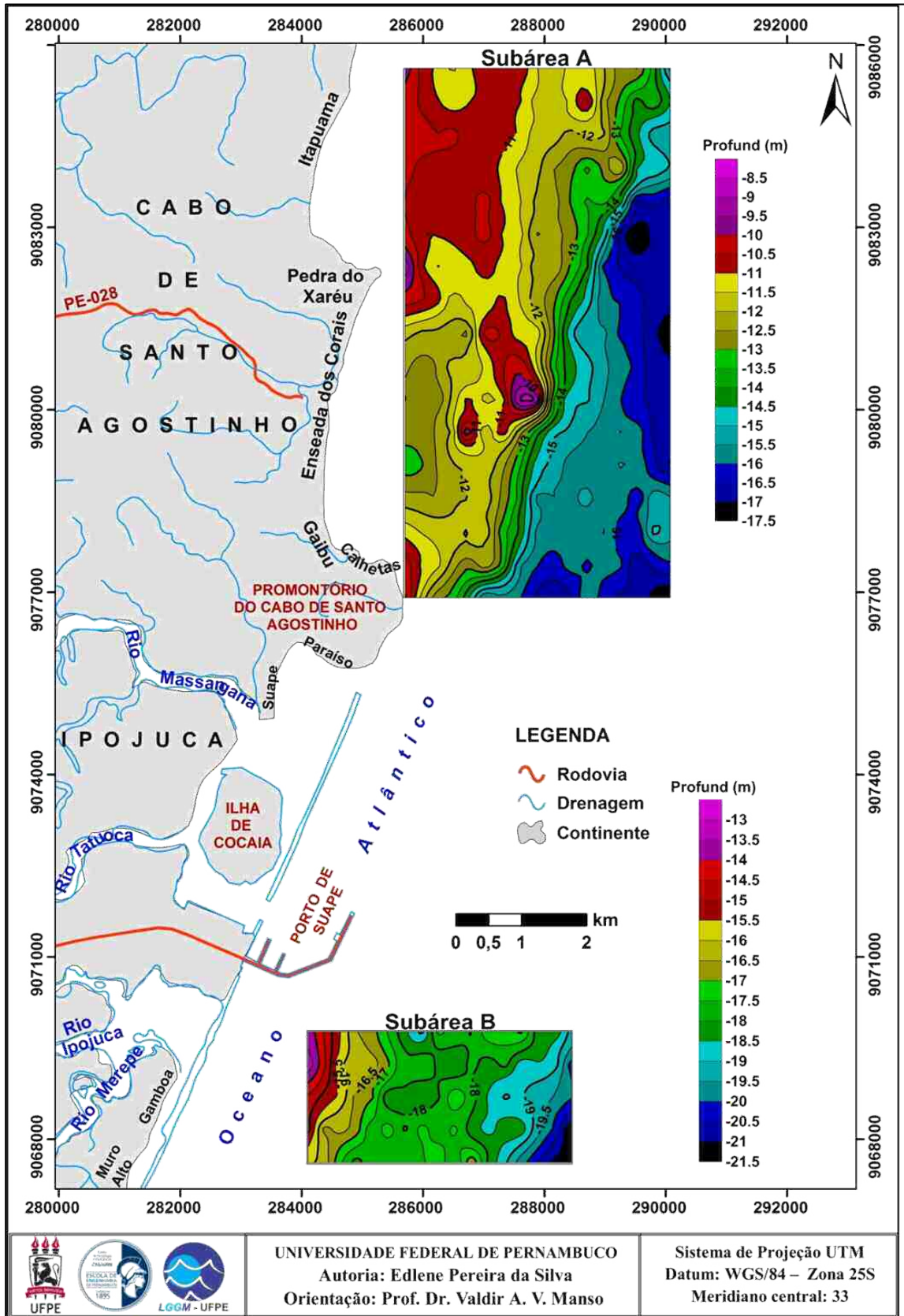


Figura 4.66 - Mapas Batimétricos das subáreas A e B.

Foram ainda obtidos perfis a partir dos mapas batimétricos gerados, com a finalidade de promover uma melhor compreensão das feições (elevações, áreas rebaixadas, reentrâncias, etc.) de relevo de fundo que caracterizam a sedimentação presente nas áreas e como estas se distribuem. Esses perfis encontram-se distribuídos em agrupamentos que serão expostos e descritos adiante.

Destaca-se que para uma melhor análise e descrição dos mapas, modelos e perfis gerados para as subáreas A e B, será apresentada a seguir uma análise dos mesmos separadamente.

### I. Análise da Batimetria da subárea A

Observando em detalhe o Mapa Batimétrico gerado para a subárea A (Figura 4.67), pode-se constatar que as isóbatas variam de -9 a -17,5 m de profundidade, caracterizando uma região da plataforma relativamente rasa, porém apresentando uma morfologia de fundo diversificada, que varia entre 0 e 1.1%, conforme Mapa de Declividades (Figura 4.68).

Analisando-se em conjunto os Mapas Batimétrico e de Declividade (Figura 4.67 e 4.68, respectivamente), constata-se que as linhas de contorno batimétrico são apresentadas a cada 0,5 m, destacando-se que a uma profundidade média de 14 m há um adensamento no espaçamento das isobatimétricas, concentrado perto do eixo diagonal de direção SW-NE no mapa (áreas em tons de verde na Figura 4.66). Na área correspondente da Figura 4.67, os maiores valores de declividade também se concentram segundo um eixo de mesma direção, atingindo 0,3% em média; Fora desse eixo, as isóbatas batimétricas apresentam-se mais espaçadas, demarcando áreas a NW e SE do mapa, onde predominam declividades mais suaves (entre 0 e 0,2% em média).

Através de diferenciações dos padrões das curvas batimétricas, podem ser observadas feições características nas áreas individualizadas, tais como: na região a NW do eixo supracitado, a presença de áreas mais elevadas compondo um provável banco sedimentar (destacado em tons magenta, vermelho e amarelo). A SE desse eixo verifica-se uma região mais rebaixada (em tons de azul). Essas e outras feições são ilustradas e melhor percebidas no Modelo Digital do Terreno (Mapa Batimétrico visto em 3D), apresentado em três diferentes perspectivas (Figura 4.69), as quais ressaltam as diferenças de elevações na morfologia do fundo submarino da subárea A.

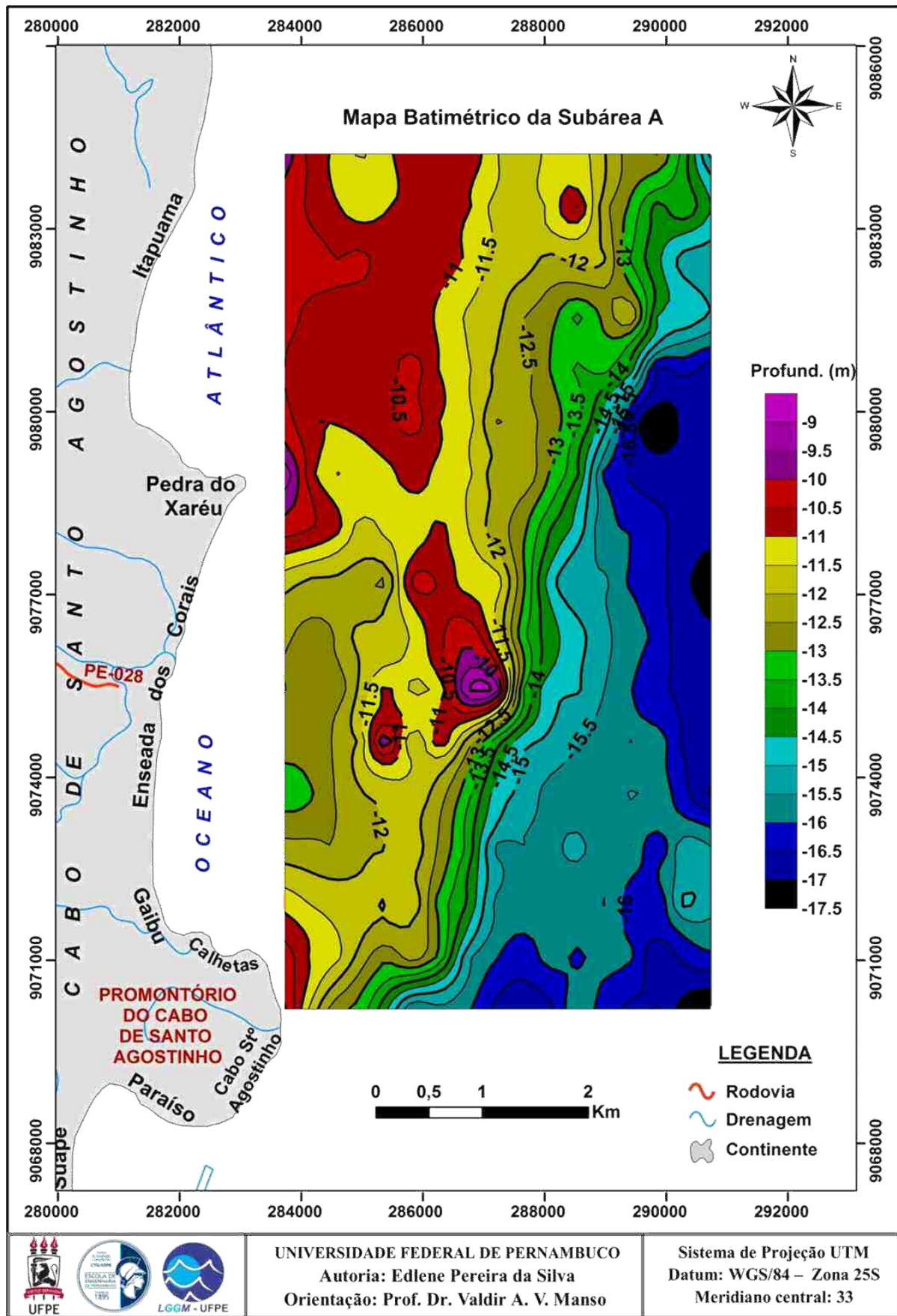


Figura 4.67 - Detalhe mostrando Mapa ou Carta Batimétrica de Contorno da subárea A.

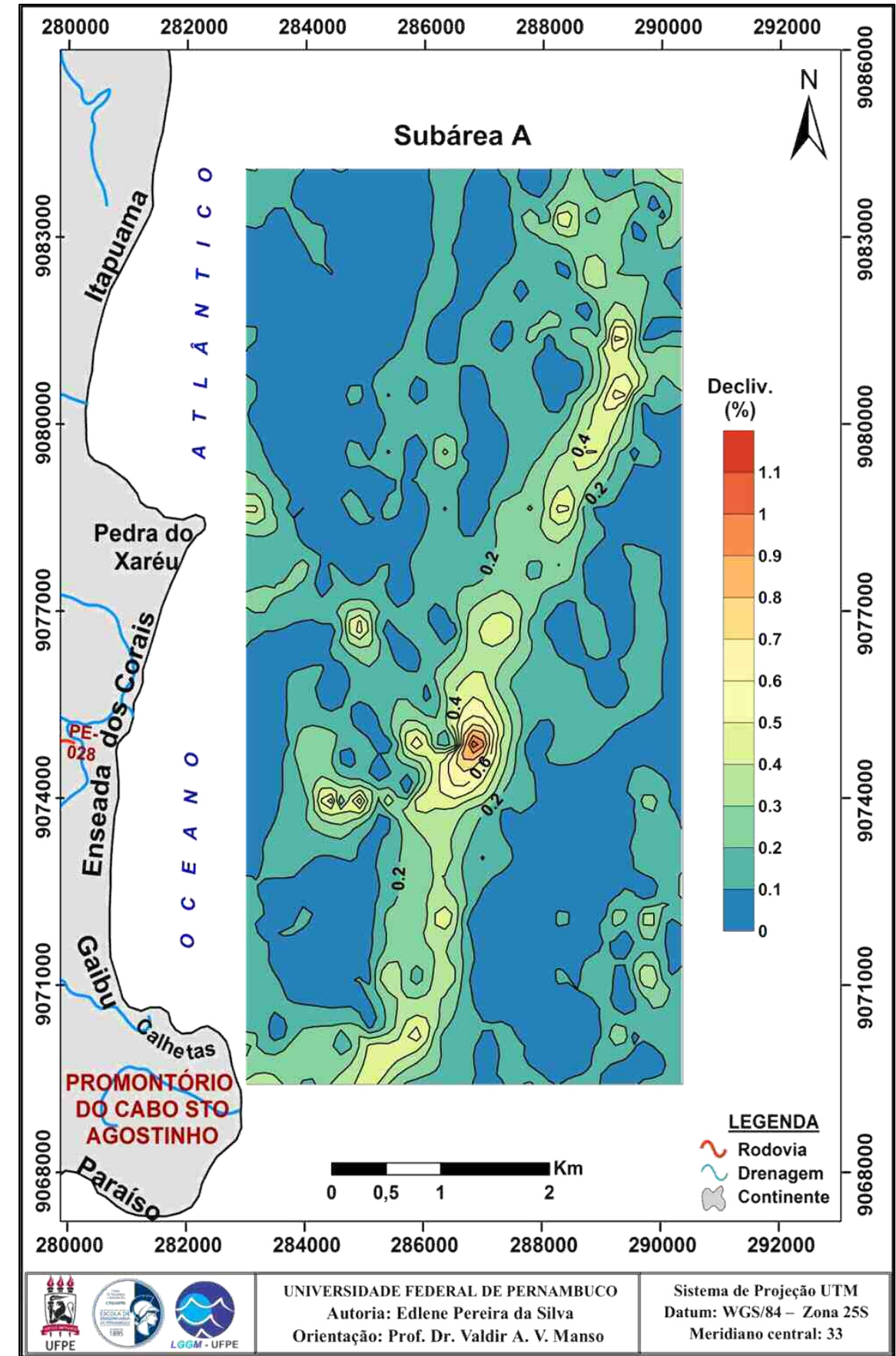


Figura 4.68 - Mapa de Declividade da subárea A.

As zonas de maiores profundidades se concentram junto às margens leste do Mapa da subárea A (Figura 4.67), seguindo a tendência regional natural de declividade de plataformas continentais em função do aumento da profundidade no sentido da Bacia Oceânica. Caracteristicamente, também se percebe crescimento das profundidades indo para o sul, atingindo a maior delas (-17,5 m) a sudeste do mapa, enquanto na região central e do lado oeste ocorrem as áreas com as menores profundidades registradas.

Nas adjacências da praia de Enseada dos Corais (antiga praia do Boto) destaca-se a formação de uma enseada apresentando profundidades variando entre -13,5 e -11 m. Essa feição acompanha a tendência da morfologia costeira, mostrada pelas isóbatas dispostas de forma relativamente subparalela à linha de costa (Figura 4.67). Seguindo para noroeste nas adjacências da praia de Itapuama, essa tendência não é observada no registro das isolinhas, havendo inclusive o assentamento de altos topográficos (elevações na sedimentação de fundo). Estas se prolongam no sentido da região central do mapa, contribuindo para o isolamento da região de enseada e são visualizadas no mapa e no modelo 3D (Figura 4.67 e 4.69) nas cores vermelho e amarelo, com as profundidades variando entre -10 e -11,5 m.

Outras feições topográficas notáveis nas Figura 4.67 e 4.69 são as maiores elevações, destacadas em tons magenta, e as regiões de depressões, na cor preta. Dentre as elevações citam-se:

- Nas imediações da plataforma interna da Praia de Enseada dos Corais, próximo a região central do mapa é notável o surgimento de um pico ou elevação de maior expressão do relevo marinho, cujo topo alcança cerca de -8,9 m de profundidade.
- Ao sudoeste desta, constata-se uma segunda elevação, um pico de menor expressão, com o topo apresentando profundidade máxima de -9,7 m.

Outras porções elevadas se destacam bordejando a área levantada, nas proximidades do continente: um pico adjacente à praia de Pedra Xaréu com topo a -9,3 m de profundidade; uma região no extremo noroeste com cume a - 9,9 m e outra no extremo sudoeste atingindo a profundidade de 10,1 m.

Entre as regiões mais profundas destacam-se três porções, todas localizadas na parte oriental do mapa:

- A mais profunda posiciona-se na área mais distal, pouco acima da plataforma de Pedra do Xaréu e chega a alcançar uma profundidade de 17,4 m;
- A segunda tem profundidade máxima de 17,3 m e está localizada na porção do extremo sudeste do mapa;

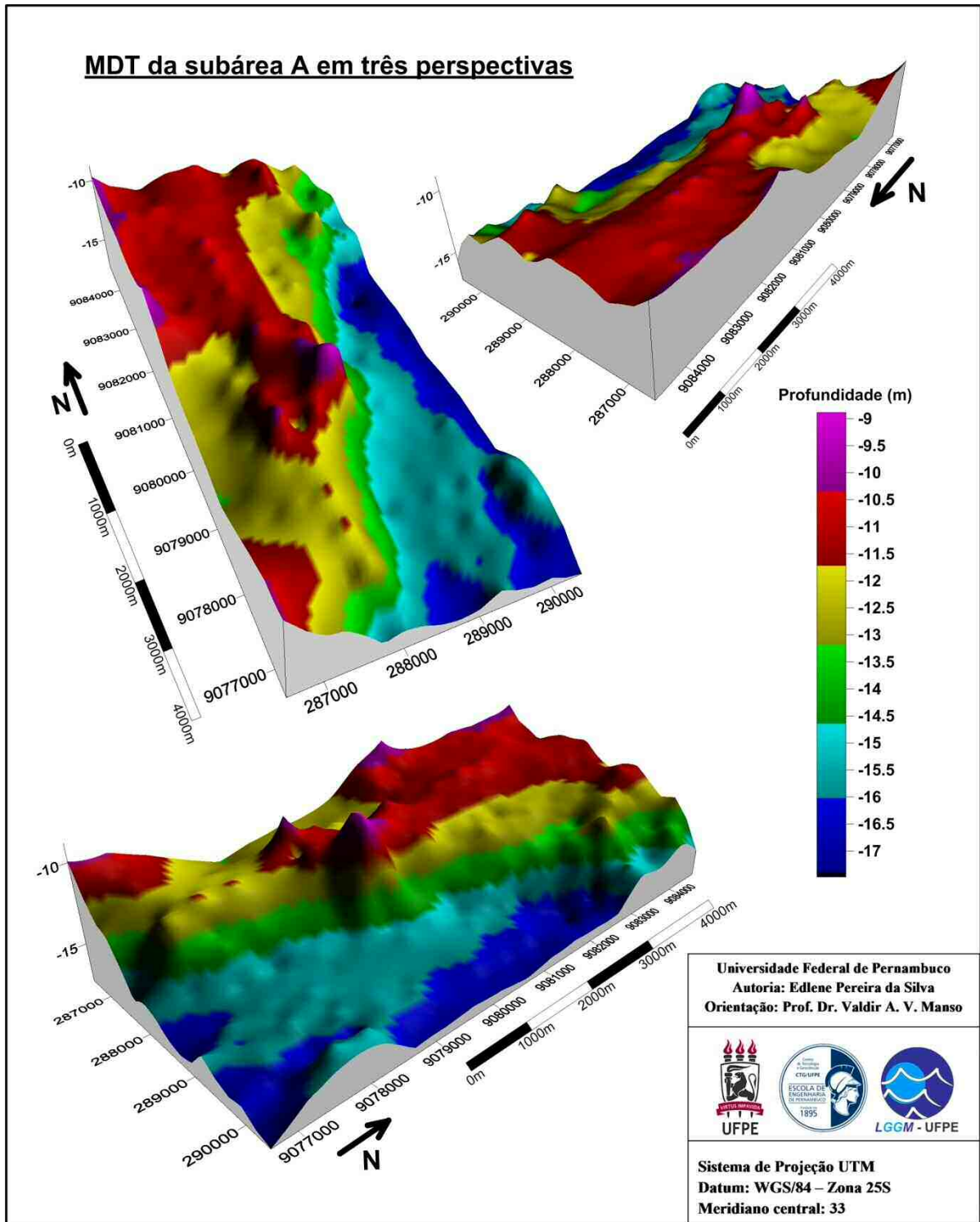


Figura 4.69- Modelos Digitais do Terreno (MDT) da subárea A mostrando a morfologia de fundo com isotimétricas ressaltadas utilizando exagero vertical de aproximadamente 230x.

- Observa-se ainda no extremo leste da área, domínio da plataforma continental interna adjacente à praia Enseada dos corais a terceira região mais profunda, a qual atinge cerca de  $-17,2$  m.



Elucidando as características referidas acima, foram gerados perfis Batimétricos posicionados ao longo do mapa da subárea A, os quais possibilitam a visualização do comportamento da morfologia de fundo, permitindo assim uma análise detalhada e cujos pormenores encontram-se descritos na sequência.

## II. Descrição dos Perfis da Subárea A

Os perfis obtidos do Mapa Batimétrico de Contorno da subárea A foram descritos em três agrupamentos:

- De direção Leste-Oeste: São os perfis de 1-1' a 4-4';
- De direção Norte-Sul: Desde o perfil 5-5' ao perfil 8-8';
- Transversais à Linha de Costa: Do perfil 9-9' ao 12-12'.

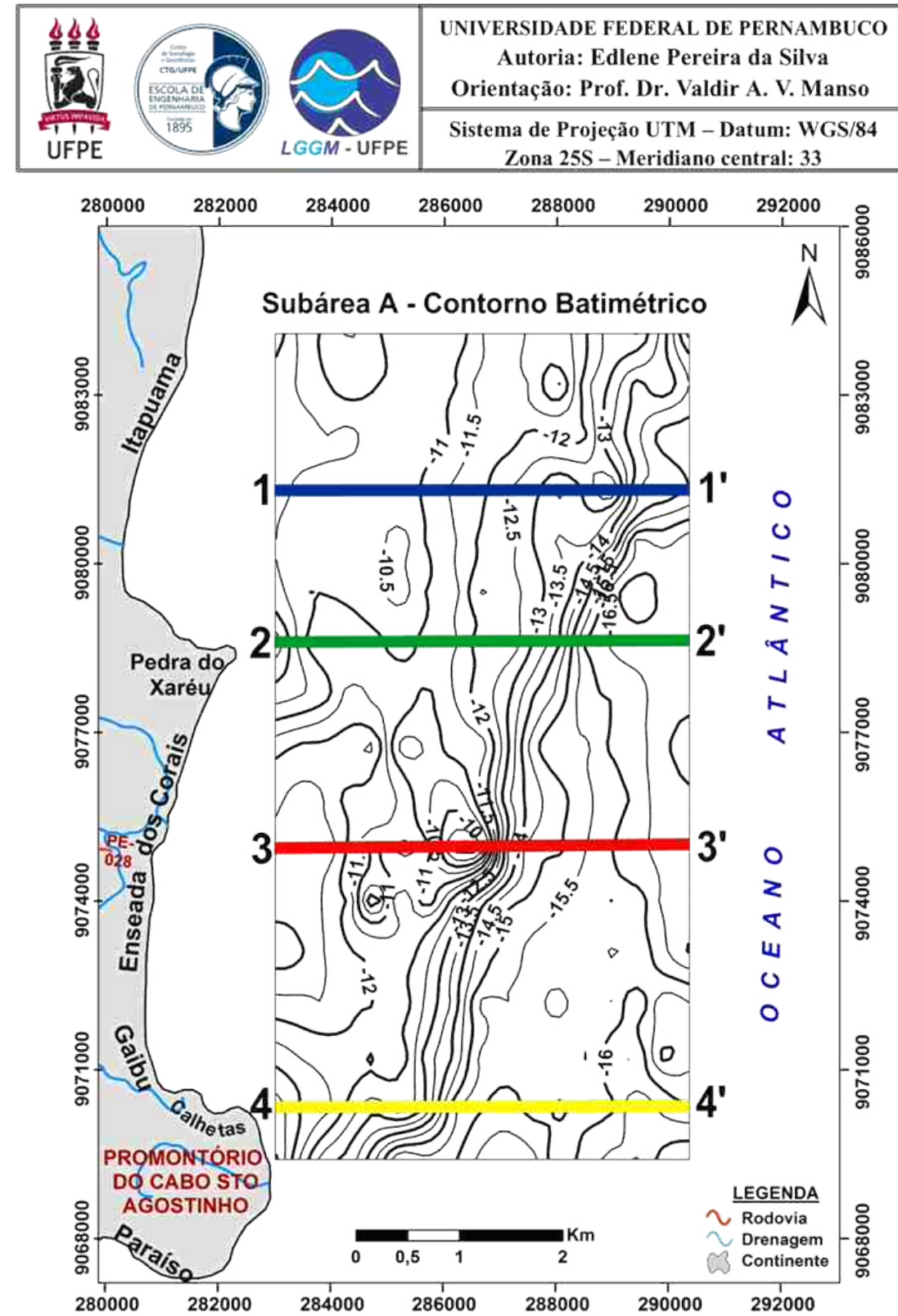
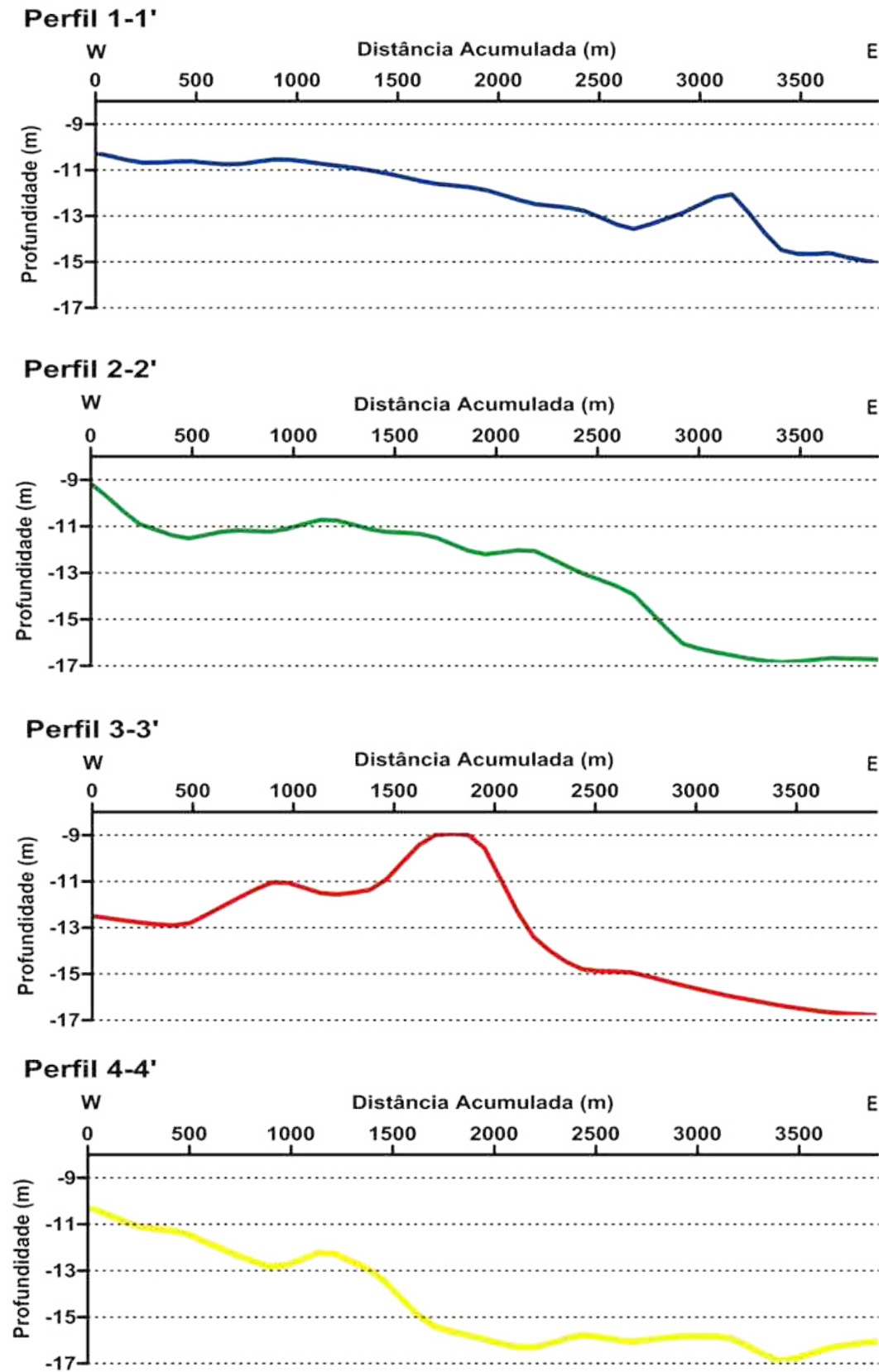
Esses agrupamentos de perfis permitiram acompanhar a morfologia do banco de areia através das secções feitas em diferentes posições, visualizando o comportamento morfológico com o deslocamento ao longo do mesmo, fornecendo ainda a visão de corte sob diversos ângulos de interesse, a qual se encontra brevemente descrita a seguir.

### • **Perfis de Direção Leste-Oeste**

Esses perfis (de 1-1' a 4-4') foram extraídos do mapa da Figura 4.67 apresentando em comum direção geral de Leste-Oeste (W-E) ou subperpendicular à linha de costa e, de um modo genérico, mostram que a área abrangente das isobatimétricas elevadas (considerada como banco sedimentar) é alargada para norte, estreitando à medida que se caminha para os perfis ao sul (Figura 4.70).

O perfil 1-1' encontra-se localizado na plataforma interna da praia de Itapuama (Figura 4.71), iniciando a aproximadamente 1,5 km da costa (Figura 4.70). Mostra inicialmente a elevação batimétrica correspondente ao banco sedimentar analisado, a uma profundidade inicial de pouco mais de -10 m, estendendo-se 1 km plataforma adentro, quando começa a declinar de forma suave até atingir a profundidade de -14 m por volta de 2,7 km do início do perfil. Torna então a subir até a profundidade de -12 m e após cerca de 3,2 km de distância acumulada sofre nova inflexão atingindo uma profundidade superior a -15 m no extremo E.

### Perfis Batimétricos Leste-Oeste - Subárea A



	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO Autoria: Edlene Pereira da Silva Orientação: Prof. Dr. Valdir A. V. Manso
	Sistema de Projeção UTM – Datum: WGS/84 Zona 25S – Meridiano central: 33

Figura 4.70 - Perfis batimétricos de direção leste-oeste com seu posicionamento ao lado, sobre o Mapa Batimétrico da subárea A.



Figura 4.71: Praia de Itapuama, localizada lateralmente ao Perfil 1-1'.  
 FONTE: <http://www.cabo.pe.gov.br> (Acessado em 03/08/2013-13:00h)

O perfil 2-2' está localizado nas adjacências da praia de Pedra do Xaréu (antiga praia das Pedras Pretas), mostrada na Figura 4.72 e posicionada na Figura 4.70.



Figura 4.72: Vista da Praia de Pedra do Xaréu, adjacente ao Perfil 2-2'.  
 FONTE: <http://www.cabo.pe.gov.br> (Acessado em 03/08/2013-13:00h)

Caracteristicamente este perfil apresenta uma Batimetria relativamente movimentada, mostrando descidas em patamares de profundidade. Inicialmente o banco de areia apresenta um topo com profundidade abaixo de -9 m, que rapidamente decai atingindo um patamar cujos valores variam entre -11 m e -11,5 m, permanecendo neste aproximadamente 2 km plataforma adentro. Depois desce gradativamente para um patamar em torno de -12 m de profundidade e, após percorrer 500 m a leste do mapa, começa uma descida inicialmente suave (por cerca de 1 km) e em seguida apresenta aumento na declividade da curva até

alcançar -16,5 m de profundidade, a uma distância acumulada de 3 km. Atinge e permanece então nessa região plana e rebaixada a leste do mapa, que representa o patamar final e mais profundo do perfil em questão, cujas cotas batimétricas oscilam entre -16,5 m e -17 m de profundidade.

O perfil 3-3' posiciona-se nas adjacências da praia de Enseada dos Corais, antigamente chamada de Praia do Boto (Figura 4.70 e Figura 4.73). Ele recorta uma região do banco de areia, apresentando inicialmente a continuação da enseada mar adentro, a qual apresenta uma profundidade máxima de aproximadamente -13 m a oeste. Dirigindo-se para a direção leste esse perfil corta uma pequena elevação do banco de areia que alcança -11 m de profundidade e, em seguida, na região central, corta um pico de proeminente elevação, o qual atinge -9 m de profundidade. Depois, na escarpa dessa elevação, sofre uma descida acentuada de cerca de 6 m no centro da área, aumentando a declividade em até 1%, entre 1,9 e 2,5 km da distância acumulada. Após atingir a área rebaixada a uma profundidade de -15 m, a curva do perfil mostra caimento suave, diminuindo a declividade, até atingir a profundidade de aproximadamente -17 m a leste da área do levantamento.



Figura 4.73: Praia de Enseada dos Corais, adjacente ao Perfil 3-3'.  
FONTE: <http://www.cabo.pe.gov.br> (Acessado em 03/08/2013-13:00h)

O perfil 4-4' está posicionado nas adjacências da praia de Calhetas (Figura 4.74), situada na região a norte do Promontório do Cabo de Santo Agostinho (Figura 4.70), onde se registra a exposição de rochas graníticas distintas pertencentes à Suíte Ipojuca (Figura 4.75).



Figura 4.74: Vista da Praia de Calhetas, nas proximidades do perfil 4-4'.  
FONTE: Thaís Guimarães (2013).



Figura 4.75: Vista da praia do Cabo de Santo Agostinho, mostrando as ruínas do Forte Castelo do Mar.  
FONTE: <http://www.cabo.pe.gov.br> (Acessado em 05AGO2013, 08:40h)

Esse perfil inicia com profundidade maior que -10 m, cortando um alto topográfico (provável continuidade do Promontório mar adentro), situado a sudoeste da subárea A. Nos 450 m iniciais do perfil, a curva decai suavemente, até atingir cerca de -11,4 m de profundidade. A seguir, entre 450 e 750 m da distância acumulada registrada, a curva sofre um pequeno aumento na declividade, chegando a uma área com um discreto canal com menos de 1 m de profundidade e cerca de 350 m de largura, o qual atinge a cota batimétrica máxima pouco antes dos -13 m de profundidade. Em seguida, volta então a subir até a isobatimétrica de -12,5 m e mais uma vez declina, ao sair da região do alto sedimentar da plataforma com declividade inicialmente suave (0,3%) e depois mais acentuada (0,6%), onde atinge as áreas rebaixadas (em tom azul no mapa batimétrico), a uma distância acumulada de 1.800 m. A partir de então, a curva permanece oscilando entre -15,7 m e -17 m de profundidade, devido pequenas variações de profundidade do relevo submarino até o final do perfil.

- **Perfis de Direção Norte-Sul**

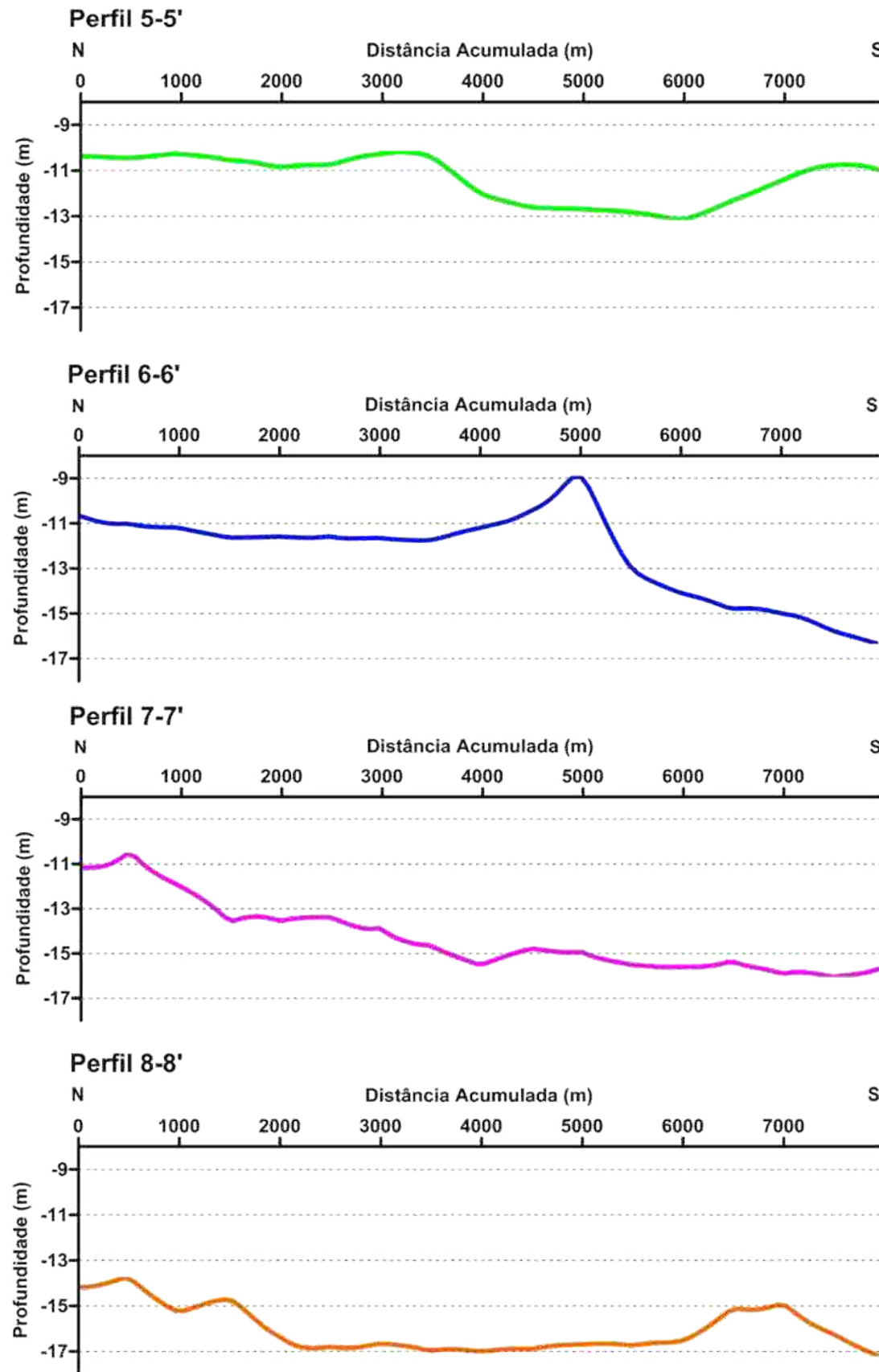
Os perfis de Direção Norte-Sul (do 5-5' ao 8-8') formam o grupo de perfis longitudinais ou sub-paralelos à linha de costa, apresentando em comum direção geral N-S (Figura 4.76). Esses perfis também mostram que o banco sedimentar (elevações topográficas) abrange praticamente todo o perfil mais a oeste, próximo ao continente e, à medida que se afasta Bacia oceânica adentro este desaparece, dando lugar às áreas mais rebaixadas do mapa. Localizado do lado ocidental do mapa (Figura 4.76), o perfil 5-5' mostra o comportamento do relevo submarino mais próximo da linha de costa. Corta toda região do banco de areia (a norte), apresentando profundidade inicial variando entre -10 m e -11 m até atingir o pico de expressão topográfica elevada, próximo à praia de Pedra do Xaréu. Após cortar tal pico, declina acentuadamente para a região rebaixada da enseada, onde as profundidades variam entre -12,6 e -13,2 m. Ao sul, volta a cortar uma elevação topográfica (provável continuidade do Promontório do Cabo de Santo Agostinho), a qual apresenta profundidade máxima em torno de -10,7 m.

O perfil 6-6' apresenta basicamente a variação da morfologia cortando inicialmente ao norte porção oriental do banco sedimentar, a qual mostra um terraço marinho com a topografia relativamente monótona, variando entre -10,7 m e -12 m de profundidade. Em seguida, nas imediações da plataforma interna da praia de Enseada dos Corais, atravessa a elevação de maior expressão topográfica, um pico cujo ápice é registrado pouco acima da isóbata de 9 m, a uma distância acumulada de 5 km do início do perfil. Após este, a curva exhibe queda acentuada e relativamente abrupta descendo até chegar às áreas rebaixadas a sul onde atinge a profundidade de -16,4 m.

A elevação topográfica do provável banco sedimentar é mostrada no trecho inicial do perfil 7-7' (Figura 4.76), ocupando apenas os primeiros 1,5 km e registra uma profundidade de cerca de -10,5 m. Seguindo rumo ao sul a curva decresce, inicialmente com declividade relativamente acentuada, chegando a níveis de profundidades entre -13,3 m e -14,8 m e posteriormente com declividade mais suave, atingindo regiões cada vez mais rebaixadas, nas quais as profundidades oscilam de -14,8 m a -16,2 m.

O perfil 8-8' não recorta a área do banco sedimentar (Figura 4.76), mas exhibe o comportamento do relevo da área rebaixada a leste do mapa.

### Perfis Batimétricos Norte-Sul - Subárea A



	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO Autoria: Edlene Pereira da Silva Orientação: Prof. Dr. Valdir A. V. Manso
	Sistema de Projeção UTM – Datum: WGS/84 Zona 25S – Meridiano central: 33

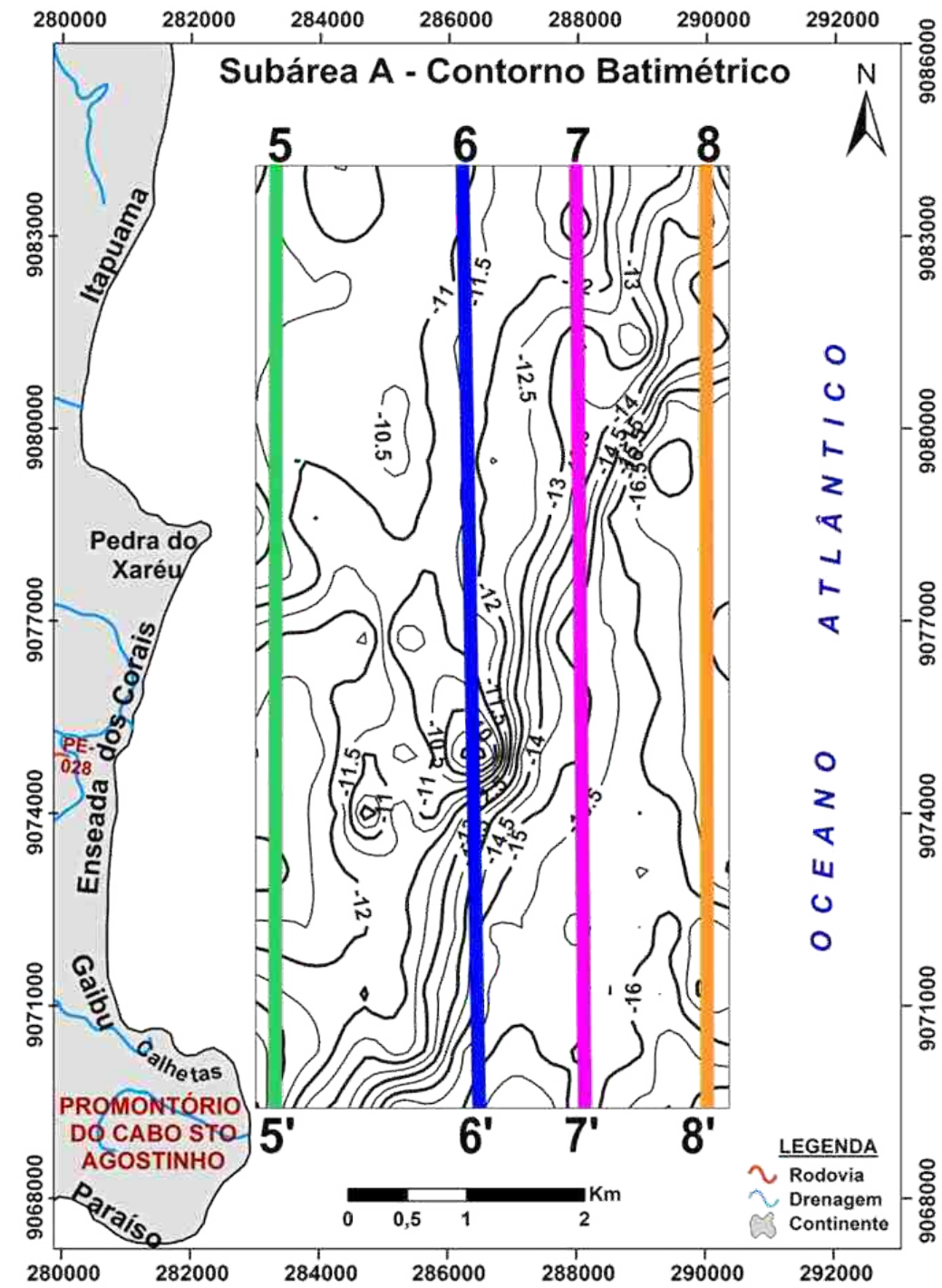


Figura 4.76- Perfis batimétricos de direção norte-sul com seu posicionamento ao lado, sobre o Mapa Batimétrico da subárea A.

Inicialmente esse perfil mostra duas pequenas protuberâncias no relevo: a primeira situada a uma distância acumulada de 500 m com profundidade do topo em torno de -13,8 m e a segunda distando 1,5 km do início do perfil, com topo próximo de -14,7 m de profundidade. Para sul, o relevo decresce consideravelmente até chegar uma área mais rasa e muito pouco movimentada, na qual permanece por 4 km com profundidade oscilando no máximo 40 cm. No final do perfil observa-se outra sutil saliência, que chega a ultrapassar a isobatimétrica de -15 m e após cortá-la, a curva declina atingindo uma depressão de 17,2 m a sudeste do mapa.

- **Perfis Transversais à Linha de Costa**

Os perfis transversais à linha de costa foram obtidos com intuito de ressaltar os principais pontos de interesse do mapa batimétrico da subárea A (Figura 4.77), com ênfase em picos observados no banco sedimentar, nas reentrâncias e nas áreas de declividade acentuada. São ao todo quatro (4) perfis (do 9-9' ao 12-12'), os quais se encontram individualizados e com suas características particulares descritas abaixo.

O perfil 9-9' é o menor dos perfis inclinados, apresentando aproximadamente 4,5 km de extensão. Este perfil inicia cortando o banco de areia na região da enseada, a uma profundidade maior que -13 m. Em seguida, atravessa dois dos grandes picos (um com -9,7 m e outro com -9 m), com topos posicionados respectivamente a 1 km e 2,2 km de distância acumulada, descendo em seguida para a região rebaixada a leste do mapa. No começo da descida (entre 2.200 e 2.500 m da distância acumulada) apresenta declividade acentuada ( $\pm 0,7\%$ ), depois decresce de forma mais suave (declividade média de 0,2%) até atingir o final do perfil, a uma profundidade superior a -17 m.

O perfil 10-10' é o segundo menor dos perfis transversais, apresentando aproximadamente 5,7 km de extensão. Inicia nas adjacências da praia de Pedra do Xaréu, cortando o topo de um grande pico sobre o banco de sedimentos, acima de -9 m de profundidade (Figura 4.77). Em seguida, a curva decresce com declividade média de 0,4 até atingir -12,5 m de profundidade à aproximadamente 1,3 km da distância acumulada. Volta então a subir, atravessando a região que corta um segundo pico, o mais elevado do levantamento, localizado na região central do mapa. Atinge o cume do pico em -8,9 m entre as distâncias acumuladas de 2,6 e 2,75 km e logo após, decai abruptamente por 750 m até a área de planície a SE do mapa, onde atinge 3,5 km da distância acumulada, com profundidade superior a -15 m.



### Perfis Batimétricos Transversais - Subárea A

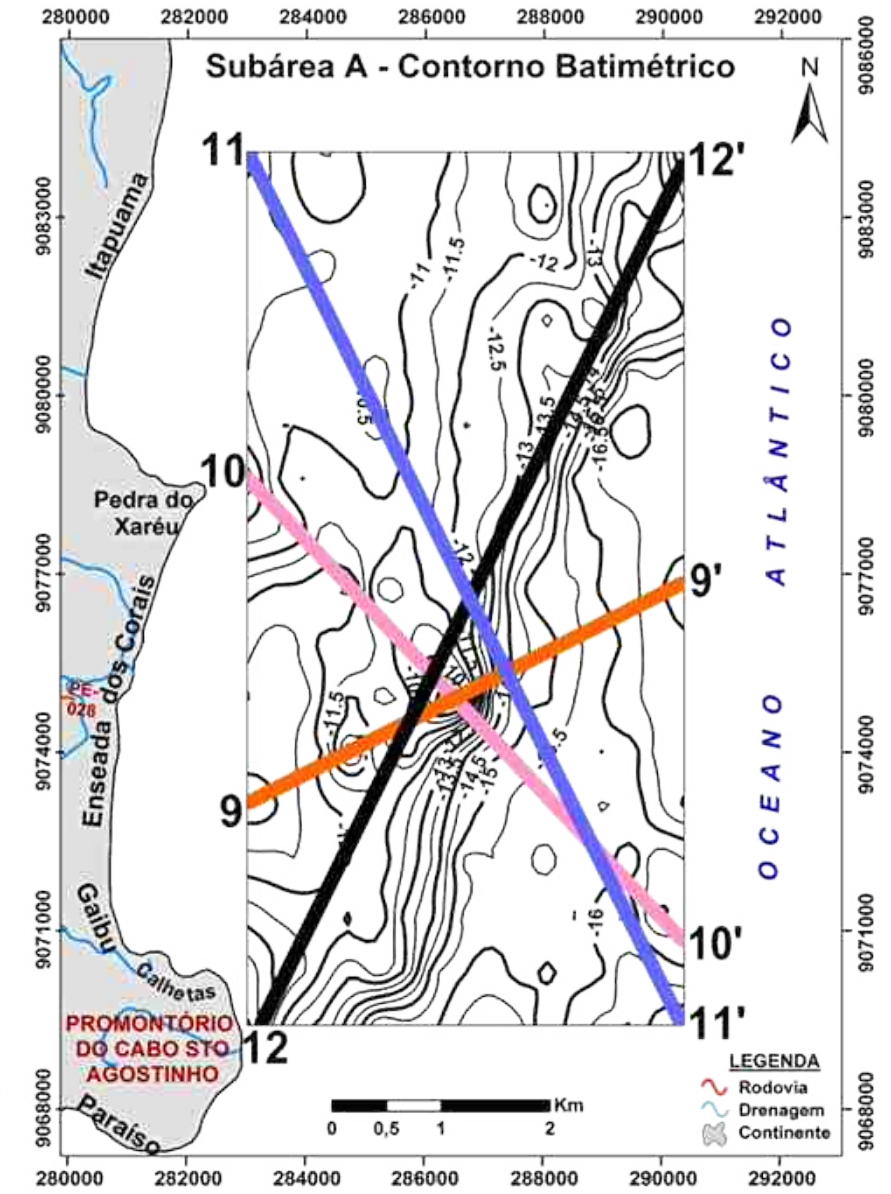
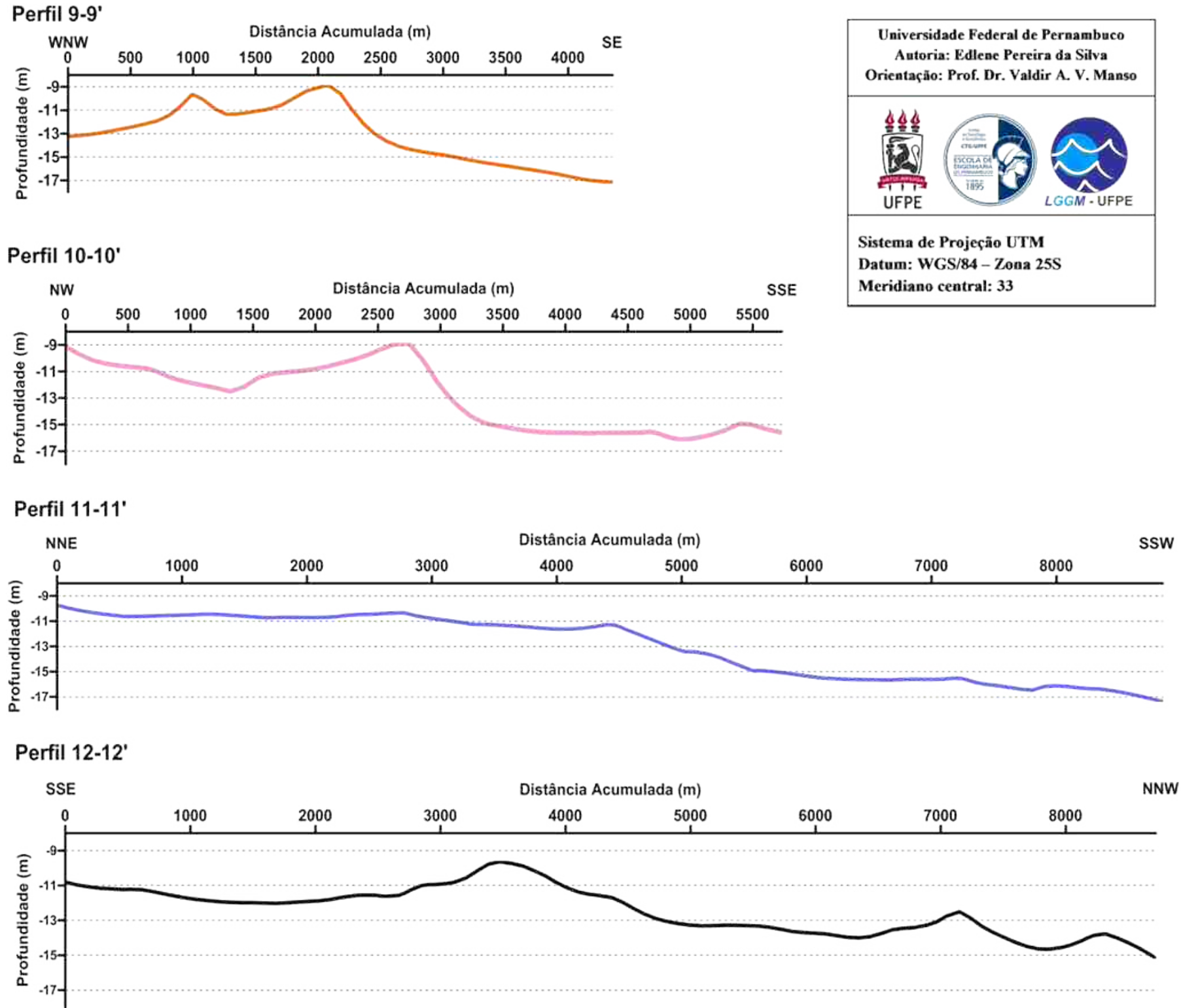


Figura 4.77 - Perfis batimétricos transversais à linha de costa mostrando o posicionamento dos mesmos ao lado, sobre o Mapa Batimétrico da subárea A.

Desse ponto até o final do perfil a SSE o relevo submarino apresenta pequenas variações de profundidade, oscilando entre -15 e -16,2 m.

Com quase 9 km de extensão, o perfil 11-11' corta diagonalmente desde o extremo NW ao extremo SE da área levantada, (Figura 4.77), apresentando o comportamento da morfologia desde as regiões mais elevadas do banco de areia até partes mais rebaixadas na planície distal. Inicialmente mostra claramente a pequena variação do relevo submarino sobre o banco sedimentar, com profundidade entre -9,7 e -11,6 m até atingir a distância acumulada de 4,6 km. Após isso, a curva decresce com inclinação acentuada por aproximadamente 1 km, adentrando nas regiões mais rebaixadas, onde a profundidade oscila entre -15 e -16,5 m. Nos 500 m finais do perfil, a curva decresce até alcançar a profundidade máxima de -17,4 m.

Medindo aproximadamente 9 km de extensão, o perfil 12-12' também corta diagonalmente a área levantada, com a direção oposta à do anterior, ou seja, inicia no extremo SW, adjacente ao Promontório do Cabo de Santo Agostinho e termina no extremo NE, no domínio das regiões mais rebaixadas. Inicialmente apresenta profundidade de -10,8 m, correspondente à elevação de continuidade do Promontório mar adentro. Depois corta toda região a sudeste da enseada mostrando ali existirem pequenas oscilações, perfazendo desde o início do perfil a distância acumulada de aproximadamente 2,8 km. A seguir o perfil atravessa a região do maior pico a uma profundidade máxima de 9,6 m e logo após a curva decai gradativamente de 3,5 até 6,3 km. Volta a apresentar duas pequenas elevações posicionadas a primeira a 7,15 km e a outra a 8,2 km da distância acumulada, com topos alcançando respectivamente -12,5 m e 13,8 m de profundidades. O perfil termina na região mais rasa, numa profundidade pouco maior que -15 m.

### III. Análise da Batimetria da subárea B

Do ponto de vista morfológico, a subárea B apresenta profundidades crescentes no sentido leste e sudeste, seguindo a tendência de aprofundamento do relevo à medida que se afasta do continente e adentra na Bacia oceânica (Figura 4.78). Com isóbatas variando de -13,5 a -21,5 m de profundidade, a subárea B também se caracteriza como uma região da plataforma relativamente rasa, sem apresentar uma morfologia de fundo com grandes variações no relevo, as quais se resumem à presença de depressões e elevações pontuais que ocorrem principalmente nas áreas centrais entre as isóbatas de -17,5 e -19 m.

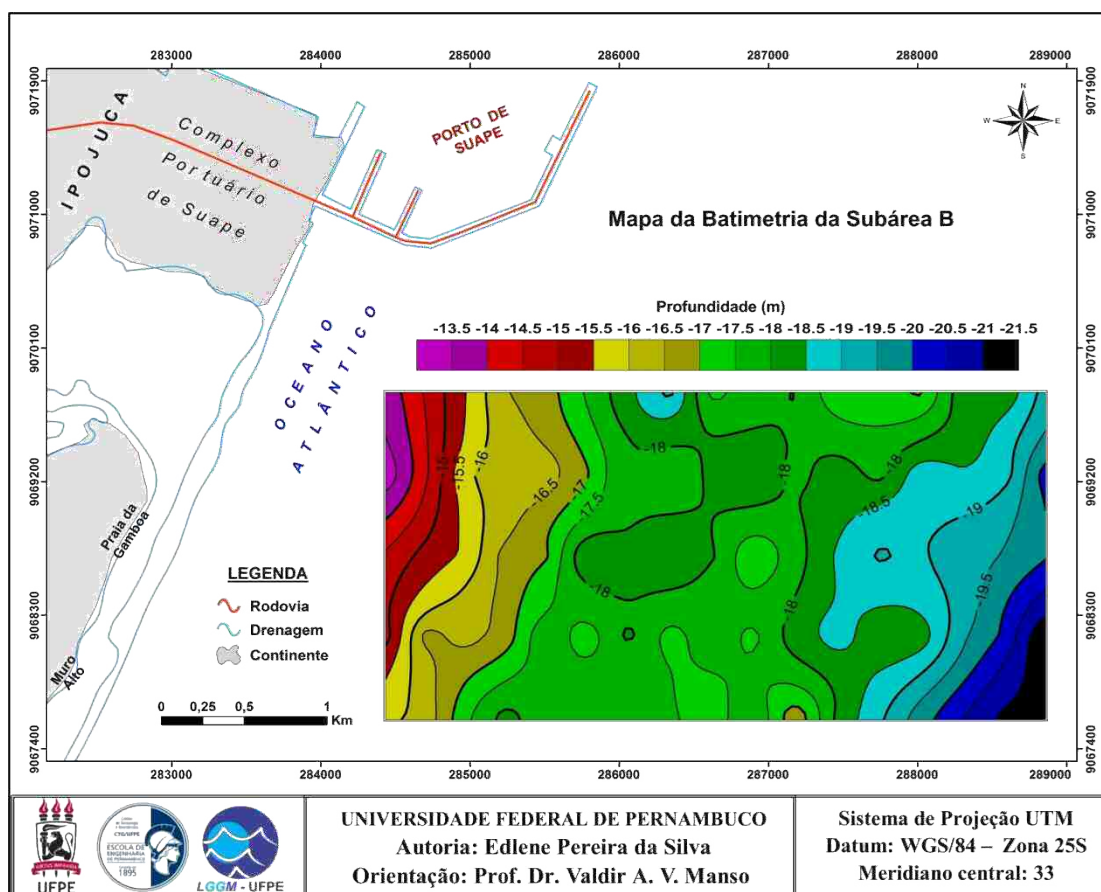


Figura 4.78 - Mapa ou Carta Batimétrica de Contorno da subárea B.

As curvas isobatimétricas apresentadas a intervalos de 0,5 m dispõem-se relativamente espaçadas mostrando a oeste, adjacente à costa da Praia de Gamboa, o trecho mais elevado mapeado, destacado em tom magenta, com profundidade menor que -14 m. Os trechos mais profundos concentram-se a sudeste do mapa, destacados em tons de azul a preto, atingindo pouco mais de -21 m do relevo marinho.

Observando-se o espaçamento das isobatimétricas percebe-se a suavidade na declividade do relevo, sobretudo na região central, e para efeito de comprovação, foi gerado o Mapa de Declividade da subárea B (Figura 4.79). Nesse mapa, os valores de declividades apresentam variação entre 0% e 0,45% com predomínio de declividades suaves (entre 0% e 0,2%), sobretudo na região central. As maiores declividades visualizadas são encontradas principalmente do lado oeste e a sudeste do mapa da subárea B, havendo também ocorrências pontuais a norte e nordeste.

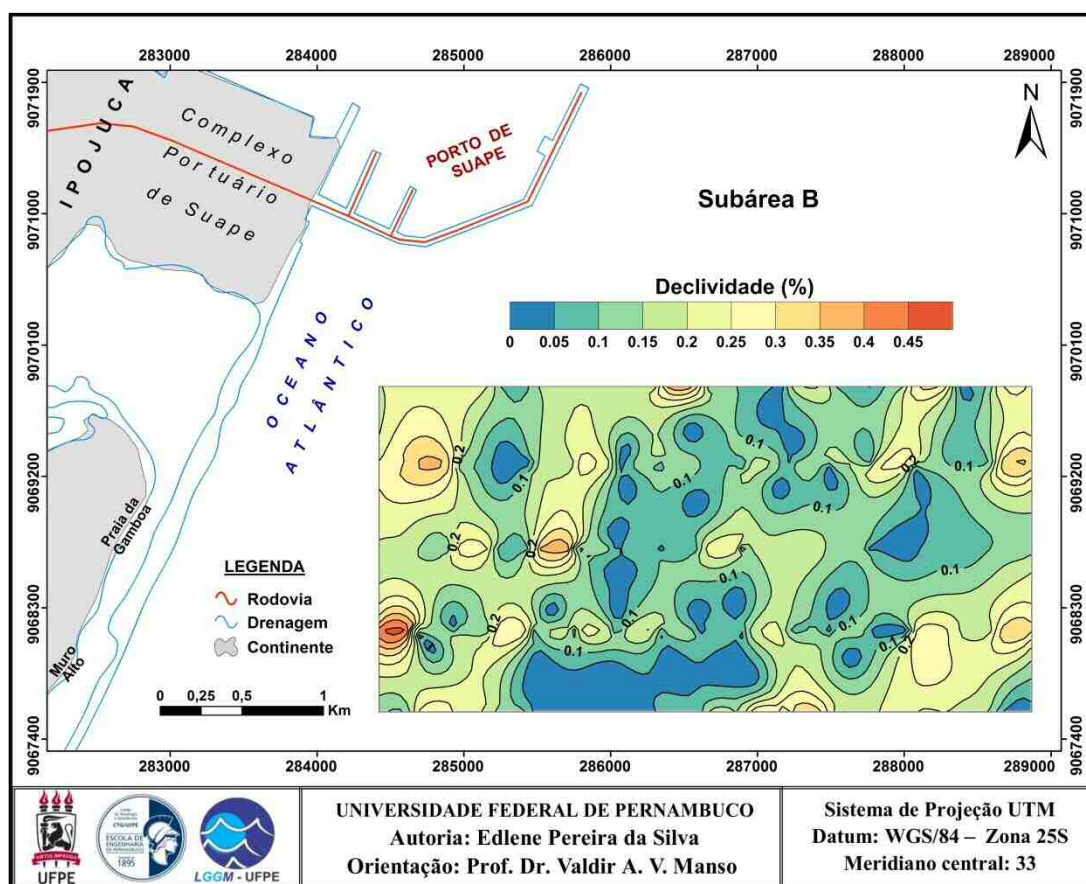


Figura 4.79 - Mapa de Declividade da subárea B.

Essas elevações e outras feições são ilustradas e melhor percebidas no Modelo Digital do Terreno (MDT) ou Mapa Batimétrico visto em 3D, apresentado em três diferentes perspectivas (Figura 4.80) as quais ressaltam as diferenças de elevações na morfologia do fundo submarino da subárea B.

Esses blocos-diagrama demonstram por diferentes ângulos as variações do relevo já comentadas: elevações discretas numa pequena área a oeste (em tons de magenta, vermelho e amarelo), o predomínio de pouca profundidade com uma pequena movimentação do relevo nas áreas com tons de verde, e a sudeste as áreas mais baixas em tons de azul a preto. Nota-se que as elevações existentes são pouco expressivas, representadas por pequenas saliências, assim como são incipientes as reentrâncias existentes, melhor figuradas adiante, em cortes ou seções geradas.

Observam-se pontualmente algumas variações ou irregularidades nas curvas isobatimétricas, as quais são ilustradas e descritas nos perfis a seguir.

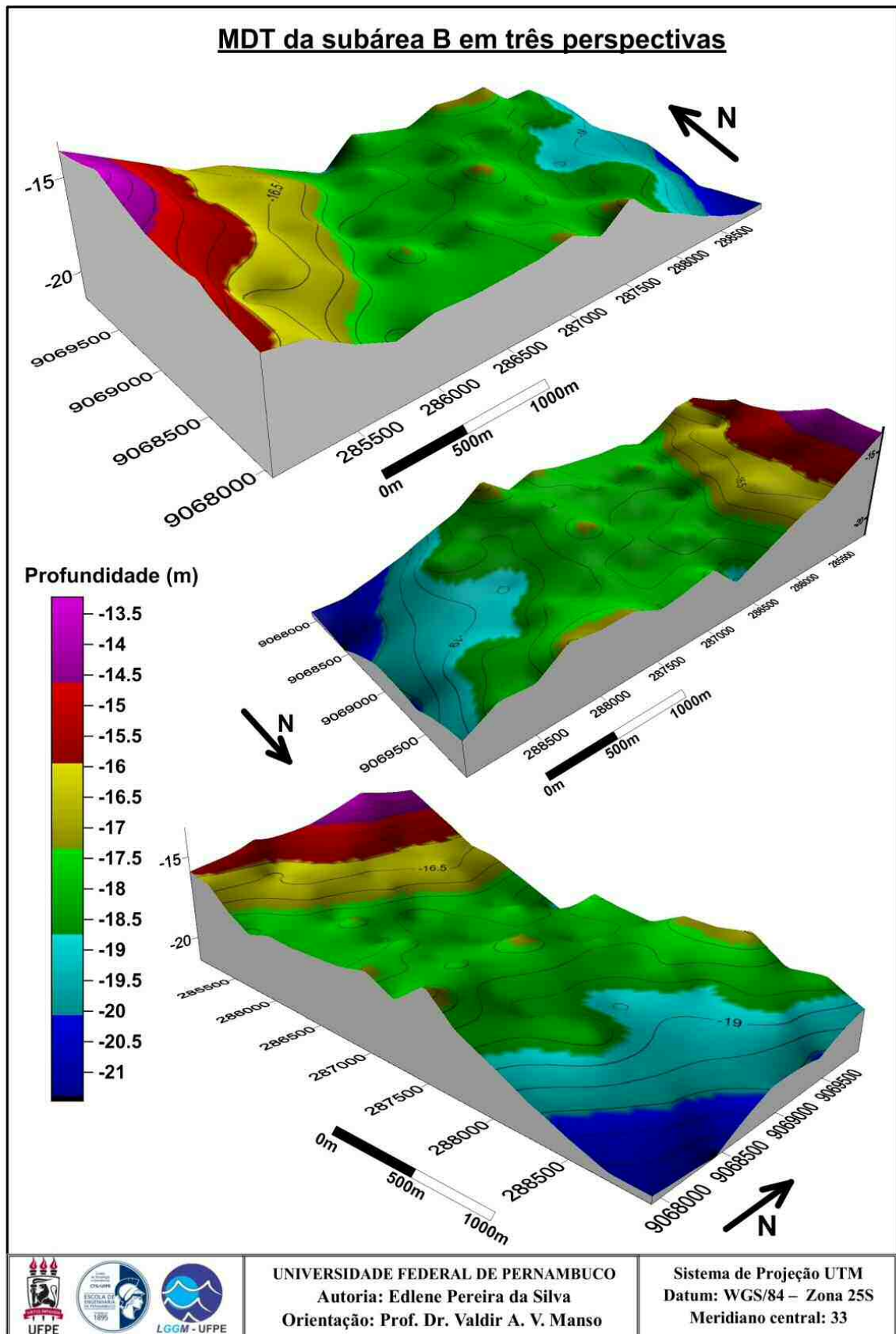


Figura 4.80- Modelos Digitais do Terreno (MDT) da subárea B, ilustrando a morfologia de fundo com isobatimétricas ressaltadas, utilizando exagero vertical de aproximadamente 120X.

IV. Descrição dos Perfis da Subárea B

A fim de melhor estudar a subárea B foram selecionados quatro perfis, conforme posicionamento no mapa batimétrico (Figura 4.81), ilustrando através das curvas (Figura 4.82) o comportamento do fundo marinho.

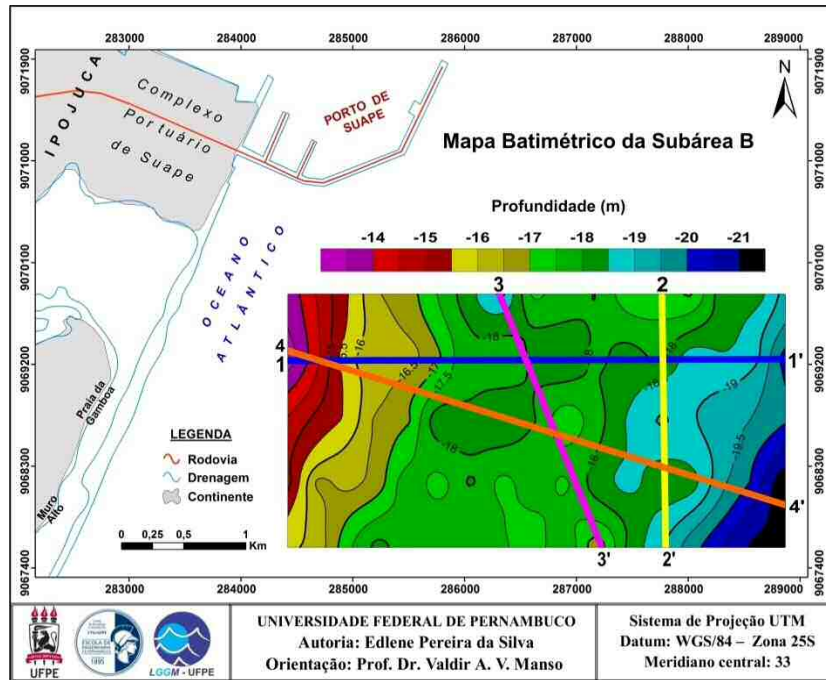


Figura 4.81 - Mapa ou Carta Batimétrica de Contorno da subárea B, com localização dos quatro perfis gerados.

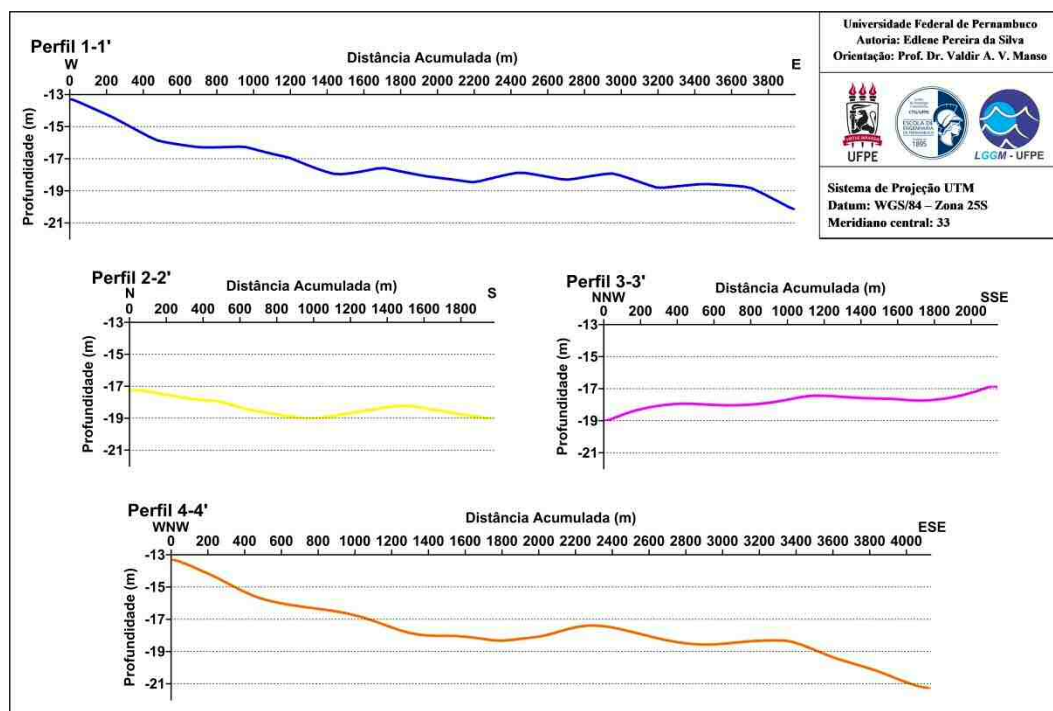


Figura 4.82- Perfis Batimétricos da subárea B (Localização na Figura 4.81).

Esses perfis encontram-se posicionados em diversas direções, em função de destacar informações relevantes, como por exemplo, cortar feições diferenciadas mostrando depressões e elevações pontuais em alguns deles, como as descritas nos perfis 2-2', 3-3' e 4-4'.

Dentre os perfis extraídos do mapa, podemos visualizar (Figura 4.81) que o perfil 1-1' possui direção W-E e exibe a tendência natural de afundamento da plataforma mar adentro. Está situado na plataforma interna a norte da Praia da Gamboa (Figura 4.83 e 4.84), iniciando numa profundidade de -13,3 m (Figura 4.82), com uma declividade média de 0,3%. Aproximadamente 500 m do início do perfil a isobatimétrica de -16 m é atingida, e a curva do perfil praticamente estabiliza percorrendo aproximadamente 400 m. Depois volta a decrescer com maior declividade até por volta de 1,45 km da distância acumulada. Desse ponto continua a decrescer, mas de forma oscilante, com profundidade variando entre -17,6 a -18,8 m por 2,4 km mar adentro, chegando a 3,7 km da distância acumulada (áreas em tons de verde e azul no mapa da Figura 4.81). Nos 200 m finais do perfil, a declividade volta a aumentar para aproximadamente 0,3%, e a curva atinge a profundidade final de 20,2 m. No geral, o perfil apresenta-se como uma rampa de declividade suave para E, apresentando pequenas oscilações.



Figura 4.83 - Praias da Gamboa e Muro Alto ao fundo. FONTE: GoogleEarth.



Figura 4.84 - Praia de Gamboa, município de Ipojuca-PE. FONTE: <http://www.brasilturismo.com>

O perfil 2-2' é o menor dos perfis que secciona o mapa B (Figura 4.81 e 4.82), estando verticalizado e mais próximo ao lado oriental, onde atravessa uma região mais baixa com desnível de aproximadamente 1 m. Inicia numa isobatimétrica relativamente alta (acima de -17 m), decresce suavemente até chegar à região de suave depressão no centro do perfil, onde atinge -19 m. Volta a subir, alcançando outra região elevada a uma distância acumulada de 1,4 a 1,6 km (pico positivo da curva do perfil). Em seguida a curva decresce suavemente para a região abaixo de -19 m de profundidade, onde é finalizada.

O perfil 3-3' corta três trechos de profundidades relativamente destoantes existentes na região central do mapa, mostrada em tons de verde (Figura 4.81), sendo um deles negativos e dois positivos. O perfil é iniciado a NNW do mapa, numa depressão de -19 m de profundidade, e em seguida o relevo se eleva de forma relativamente suave e oscilante até por volta de -18 m, por onde permanece por aproximadamente 600 m. A seguir corta no centro do mapa uma pequena elevação de aproximadamente -17,2 m de profundidade, a qual é representada na curva do perfil como uma elevação posicionada em torno de 1,2 km do início deste. Logo em seguida decresce atingindo outra região mais baixa de -17,8 m de profundidade, voltando rapidamente a subir até atingir o último trecho positivo no final do perfil, a 16,8 m de profundidade.

O perfil 4-4' está posicionado de WNW a ESE do mapa (Figuras 4.81 e 4.84), iniciando na região mais elevada, a pouco mais de -13 m de profundidade, e finalizando nas porções mais rebaixadas, abaixo de -21 m de profundidade. Nos primeiros 500 m do perfil a curva decai ao recortar a região elevada (em tons de magenta e vermelho no mapa), com declividade relativamente acentuada (entre 0,2 e 0,3%), tornando-se mais suave nos 700 m seguintes, apresentando declividade média entre 0,15 e 0,2%. A seguir, a curva descreve um relevo mais plano de uma região extensa, destacada em tons de verde no mapa e situada entre 1,1 e 3,4 km da distância acumulada do perfil, na qual a profundidade oscila entre 17 e 18,6 m. No final do perfil, adentra-se nas áreas mais rebaixadas e a curva caracteristicamente volta a se apresentar como uma rampa descendente, com declividade mais acentuada (em torno de 0,25%) até alcançar a região abaixo de -21 m de profundidade.

#### 4.3.3 Comparação dos mapas batimétricos com o de teor de carbonato de cálcio:

As Figuras 4.85 e 4.86 mostram, respectivamente, o Mapa da Batimetria e Mapa do Teor de  $\text{CaCO}_3$  gerados na subárea A para melhor visualização e comparação.



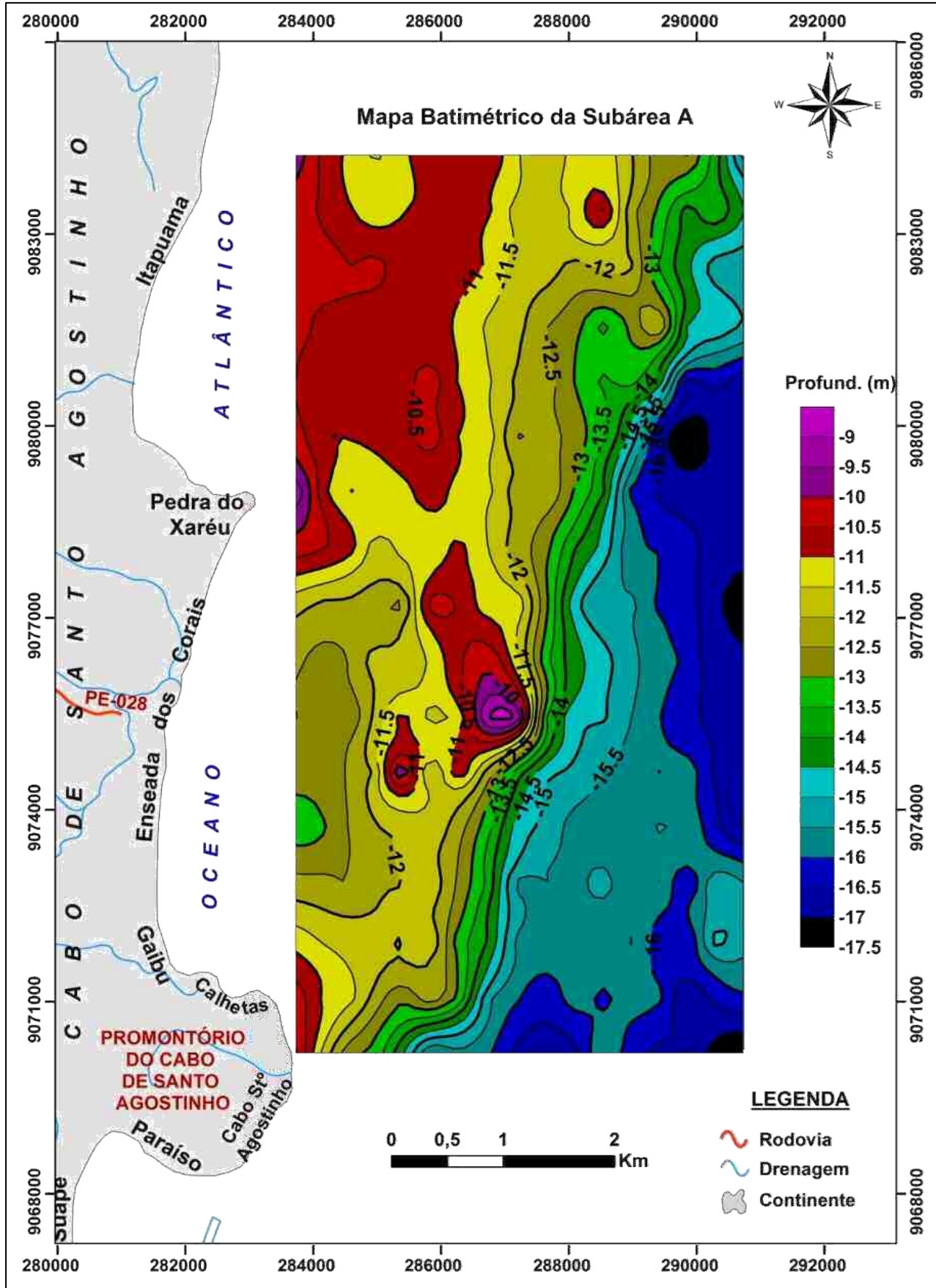


Figura 4.85- Mapa Batimétrico da subárea A.

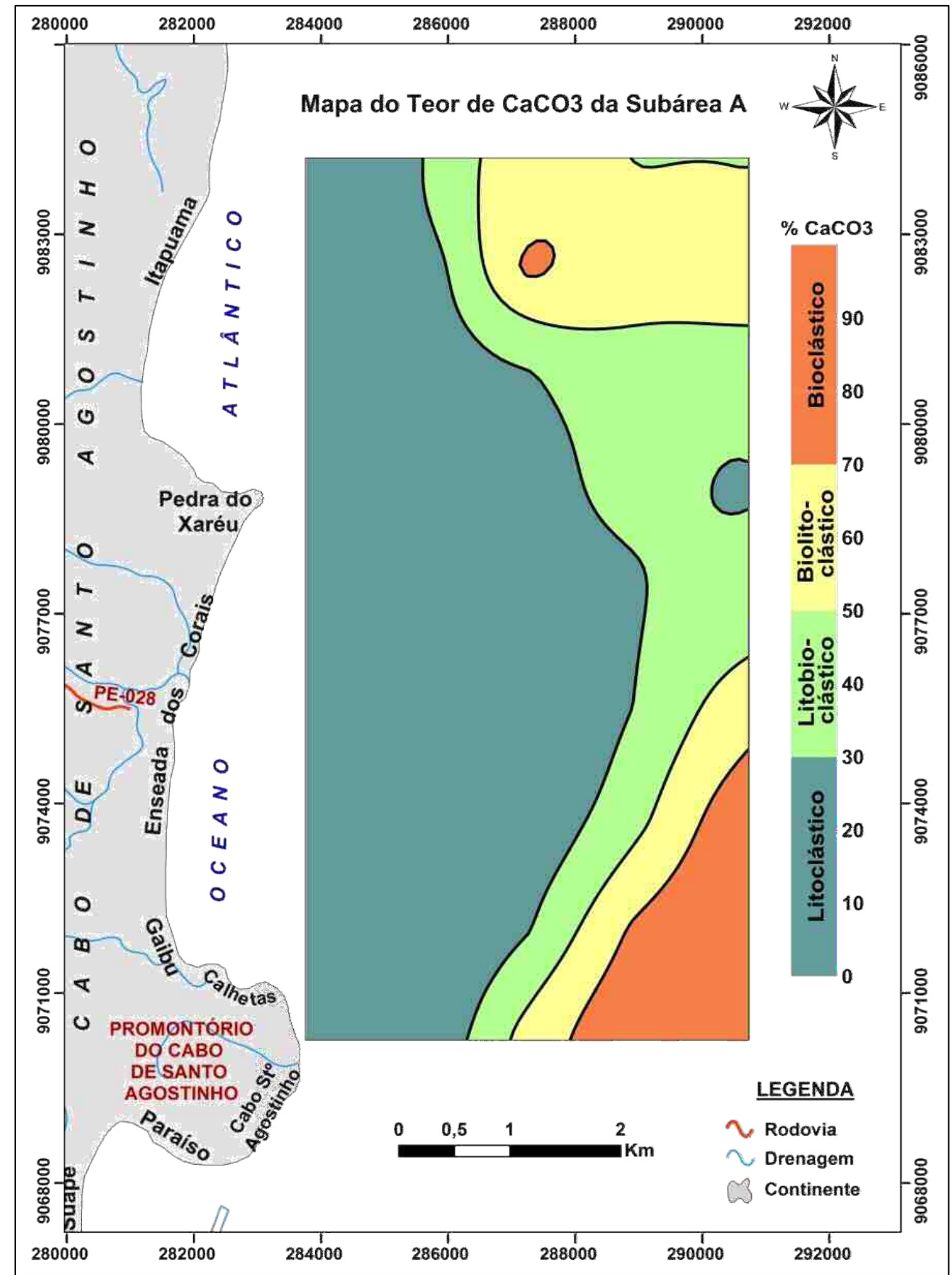


Figura 4.86 - Mapa do Teor de Carbonato (CaCO<sub>3</sub>) gerado para a subárea A.

Para comparação dos resultados em relação à subárea B, são apresentados os mapas das figuras 4.87 e 4.88. Reportando-se ao Mapa da Batimetria (Figuras 4.85) têm-se os limites mais favoráveis posicionados no quadrante NW, onde se observam elevações do relevo submarino e, em relação ao Mapa do Teor de Carbonato (Figuras 4.86), os campos de maior interesse concentram-se em todo lado ocidental, onde há o predomínio de siliciclastos.

Apointa-se como área de especial interesse a região ‘de intersecção’ obtida pela integração Batimetria *versus* Teor de  $\text{CaCO}_3$ , onde houve uma avaliação positiva de existência de depósito sedimentar siliciclástico. Em função desses resultados foi então selecionado o trecho a ser executado o levantamento sonográfico (subárea  $\alpha$ ) para avaliar a extensão lateral do depósito ali existente.

Visualiza-se inicialmente no Mapa da Batimétrico que as regiões mais elevadas (acima da isobatimétrica de -17 m) estão concentradas na região proximal (Figura 4.87). Em seguida tem-se a visualização das curvas isobatimétricas sobrepostas ao Mapa do Teor de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 4.88), onde se observa que a região mais elevada (acima de -17 m) é praticamente recoberta por sedimentação bioclástica. Nele destacam-se ainda as duas ocorrências pontuais dos litoclásticos: uma na região central do mapa, onde parte dessa ocorrência coincide com uma discreta elevação em meio ao relevo suave (Figura 4.88), e a outra a sudeste onde é sugestivo não estar relacionada com a variação do relevo submarino, porquanto se posiciona em área de suave declividade.

De acordo com observações retro descritas, se conclui que para a subárea B, a sedimentação analisada atesta inaptidão para exploração com fins de reposição de praias degradadas, visto que, do ponto de vista sedimentológico, o carbonato é material predominante na área o qual apresenta densidade menor, o que o torna impróprio para fins de recomposição de praias degradadas. Associado a esse fato, cita-se a ausência do banco sedimentar, de acordo com os resultados batimétricos, o que motivou o descarte do levantamento sonográfico nessa área de estudo.

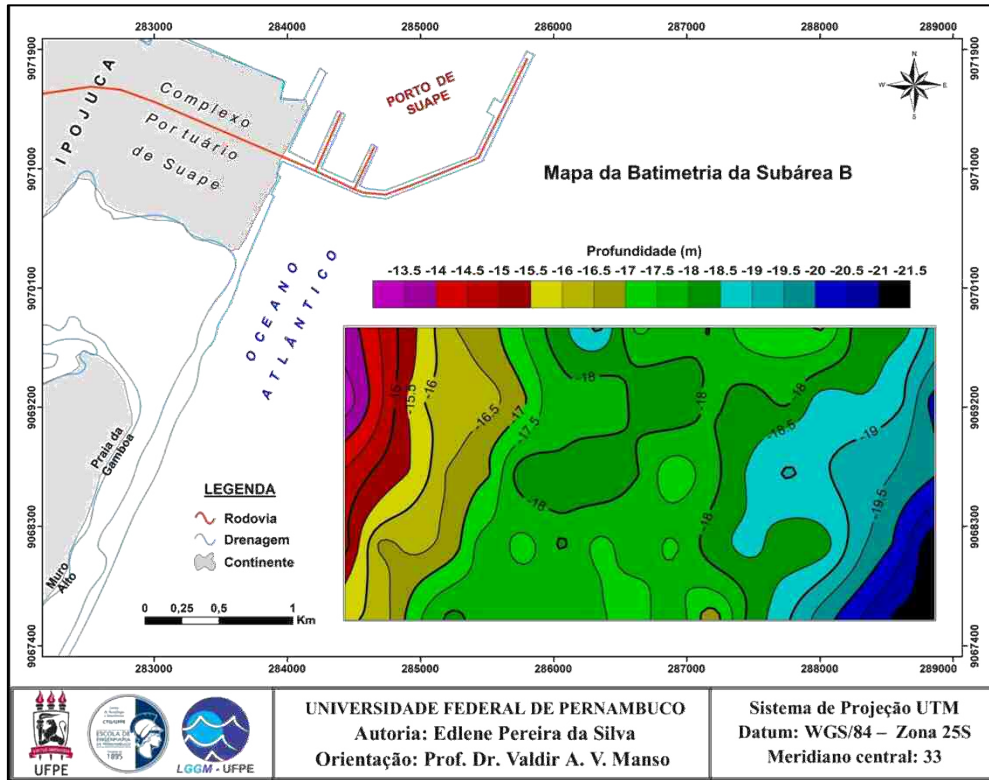


Figura 4.87 – Mapa de Contorno Batimétrico da subárea B.

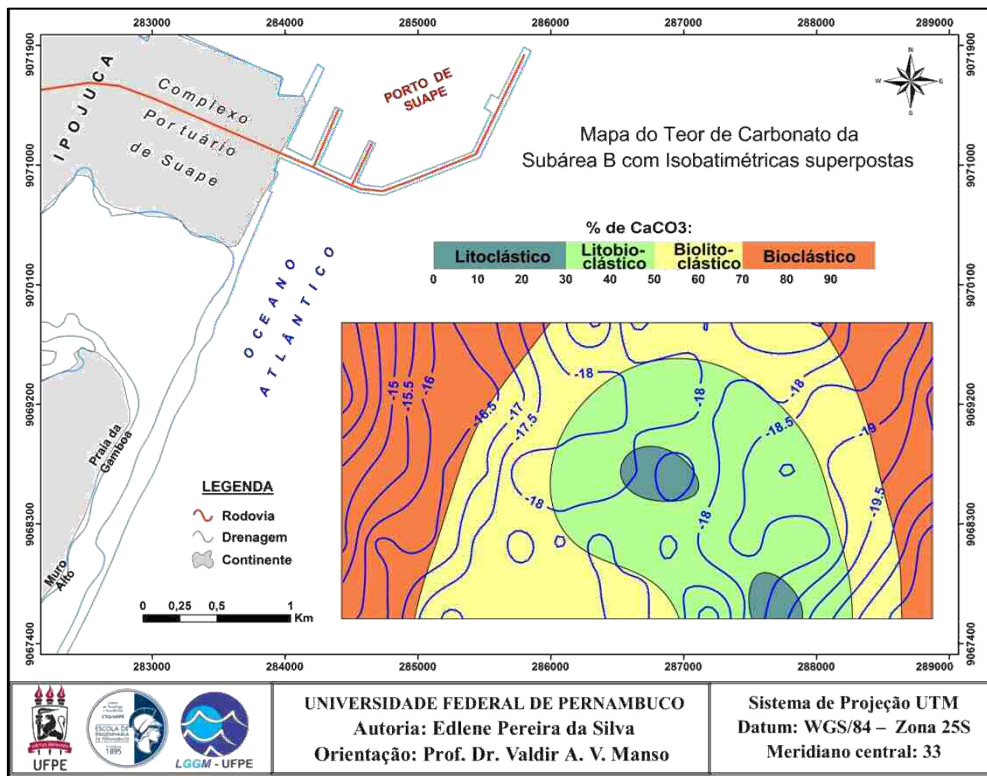


Figura 4.88 – Mapa de Teor de Carbonato da subárea B com as isobatimétricas sobrepostas.

## 4.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

### 4.4.1 Carta Náutica

A Figura 4.89 mostra a carta náutica N960 obtida do DHM, na qual foi comprovada a existência de bancos de areias na subárea A estudada (destacando a subárea A em vermelho), reforçando aos resultados das análises de sensoriamento remoto, da sedimentologia e da Batimetria, auxiliando na escolha da área para realização do levantamento sonográfico. Não foram encontrados registros que comprovassem a existência de bancos de areia na subárea B.

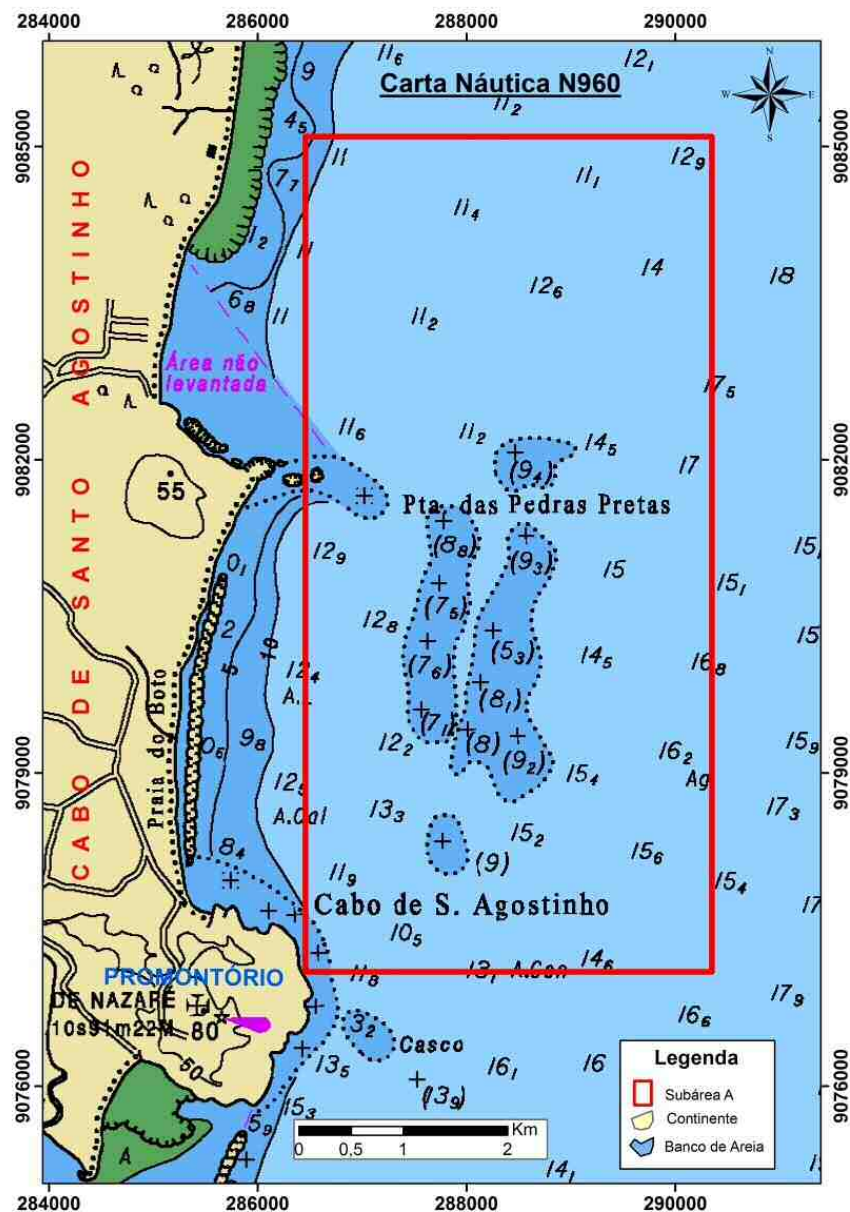


Figura 4.89 - Carta Náutica registrando existência de bancos de areia na subárea A (destacada em vermelho).  
Fonte: DHN, 2004.

#### 4.4.2 Sensoriamento Remoto *versus* Batimetria

Na Figura 4.90 está registrada a delimitação das áreas X e Y, onde foram inicialmente realizados os estudos Sedimentológicos, e as subáreas A e B onde posteriormente foram obtidas as curvas de contorno batimétrico.

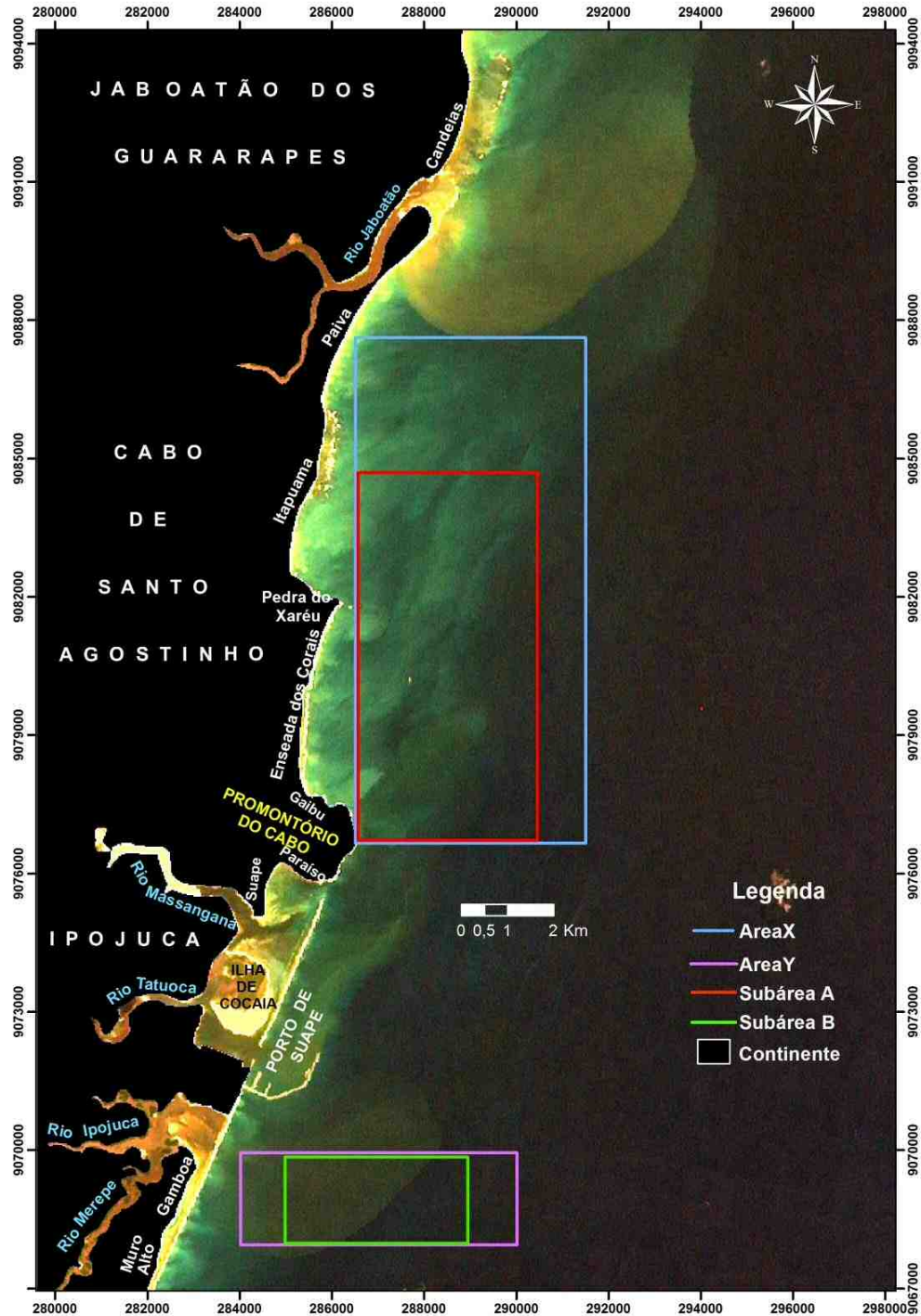


Figura 4.90 - Imagem de Sensoriamento Remoto com a delimitação das áreas X e Y (respectivamente em azul e rosa) e subáreas A e B (destacadas em vermelho e verde, respectivamente).

Agregando as informações obtidas nas análises das imagens de satélite com a resposta dos dados batimétricos constata-se, sobretudo na área A, que as isobatimétricas mais elevadas delimitam as áreas de maior visibilidade, devido à maior incidência de luz solar (Figura 4.91).

Na área A verifica-se que as regiões mais rasas da plataforma interna são visíveis até aproximadamente a isobatimétrica de -13 m. A declividade do terreno aumenta entre -13 m e -15 m de profundidade, onde as isobatimétricas se acumulam e aumentam os efeitos de espalhamento e absorção da luz solar reduzindo, por conseguinte a visibilidade.

Na área B a maior cota batimétrica atinge -13,5 m posicionando-se mais próxima do continente (Figura 4.91). Observa-se pela variação de coloração o reflexo de sedimentação em suspensão carregada do continente, caracterizando a pluma originada pelos rios Merepe e Ipojuca, e a expressão de seu limite sudeste discriminada na imagem da Figura 4.92, com direção provavelmente superimposta pela corrente de deriva local.

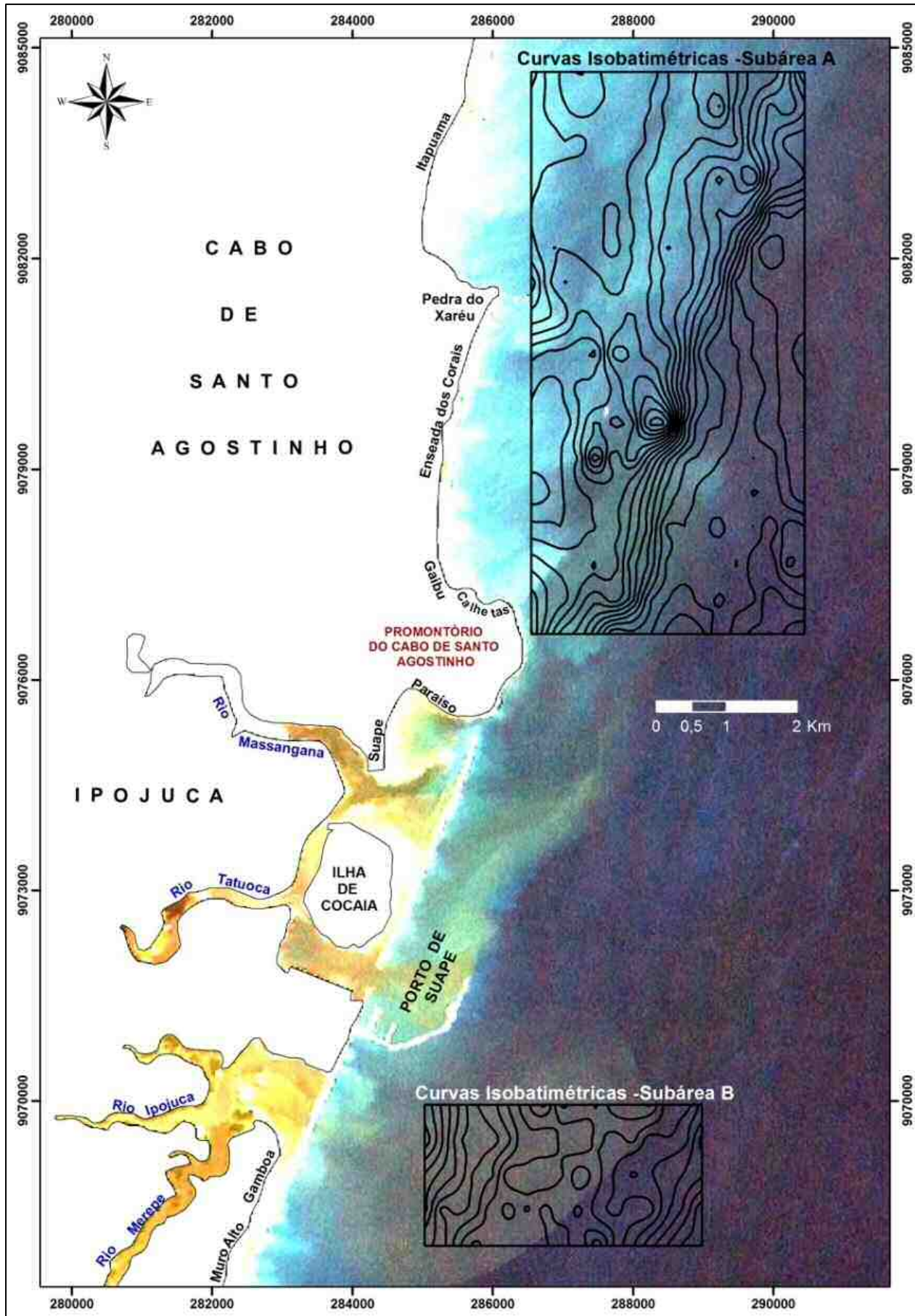


Figura 4.91- Isobatimétricas sobrepostas à Imagem de satélite.

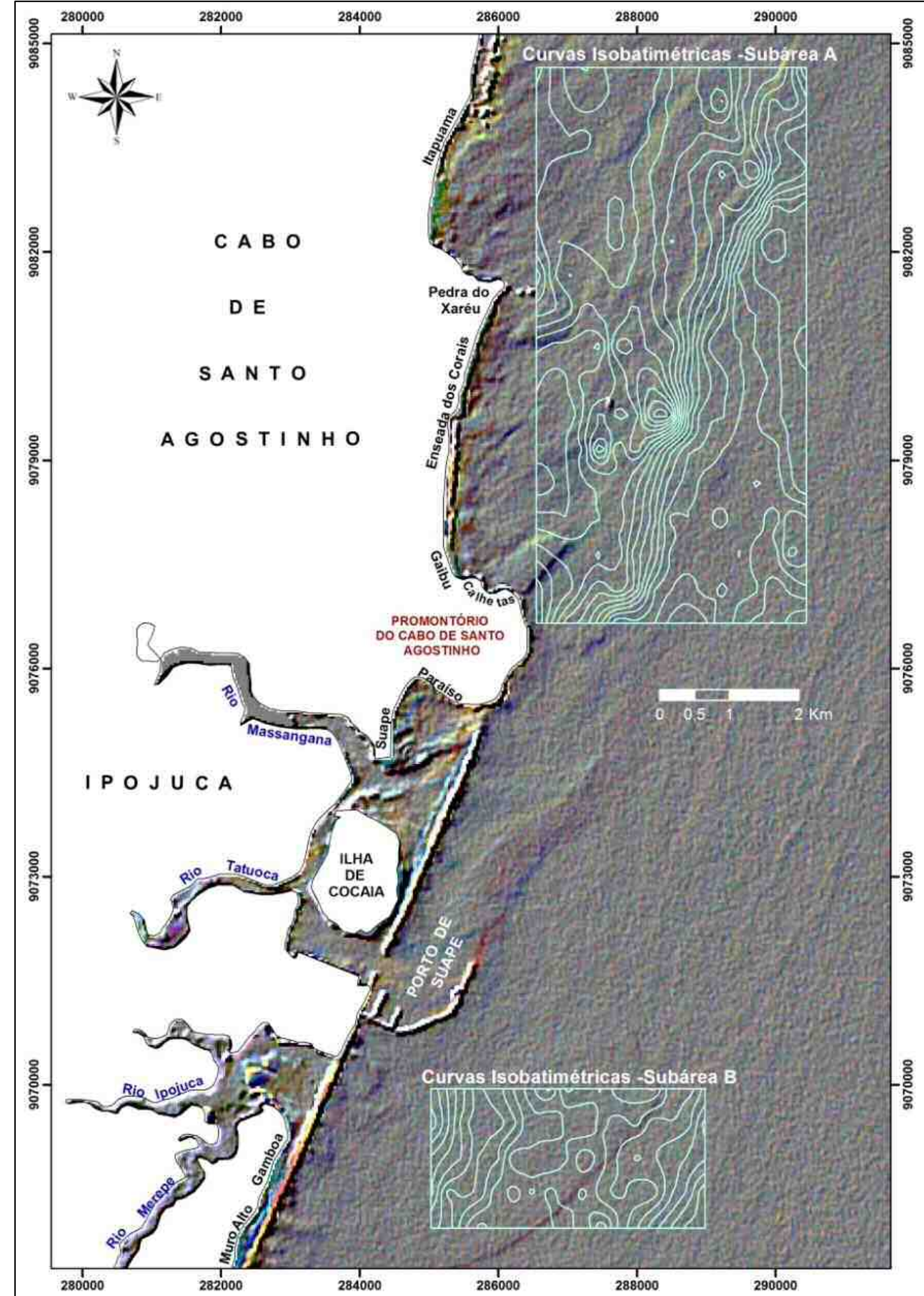


Figura 4.92 - Isobatimétricas sobrepostas à Imagem de satélite filtrada.

Sobrepondo as curvas de contorno batimétrico da subárea A à imagem de satélite filtrada, recortada e focalizada (Figura 4.93), confirma-se que o aspecto da textura de fundo observada não se trata unicamente de carga sedimento em suspensão, como suposto inicialmente na análise das imagens isoladas, porquanto esta apresenta de fato, as áreas elevadas incluindo, bancos de sedimentos e substratos rochosos.



Figura 4.93 - Imagem de Sensoriamento Remoto com as isobatemétricas da subárea A (destacadas em azul claro).



#### 4.4.3 Resultados do Levantamento Sonográfico

Através do método da Sonografia observaram-se em planta características superficiais da distribuição dos sedimentos, com o propósito primordial de examinar possíveis depósitos siliciclásticos com potencial para exploração mineral.

Com base no sinal acústico recebido do *Towfish* foram geradas imagens do recobrimento de fundo e, a partir de variações de texturas visíveis, foi possível mapear e identificar diferentes substratos compondo a área de estudo. Considerando-se as limitações das resoluções apresentadas pelos sonogramas, algumas dessas variações encontram-se descritas a seguir.

A Figura 4.94 apresenta o mosaico completo ilustrando toda a área  $\alpha$  cingida pelo levantamento sonográfico. Em função da intensidade de energia acústica refletida pelo assoalho oceânico, observou-se uma variação nas tonalidades de cinza registradas nos perfis, atribuídas a mudanças na morfologia submarina e à diversidade na granulação e composição dos materiais que formam o substrato.

Ressalta-se que o mosaico gerado apresenta alguns perfis interrompidos, devido a problemas ocasionados durante a aquisição dos dados sonográficos, dentre eles:

- 1) Na linha 01, nas adjacências da praia de Pedra do Xaréu, onde houve uma brusca elevação do fundo imageado, necessitando interromper a varredura e suspender o *Towfish* para evitar colisão do equipamento com o substrato, voltando a registrar após aproximadamente 400 m de distância percorrida pelo barco;
- 2) A linha 12 (na região central do mosaico) foi interrompida devido um problemas de navegação (GPS ou sonda de navegação), havendo desvio da rota que estava sendo percorrida no sentido de norte para sul. A gravação foi retomada depois percorrer pouco mais de 1 km, conforme mostrado no registro do sinal (Figura 4.94);
- 3) Há ainda ausência de registro do sinal em um pequeno trecho (cerca de 200 m) da linha 20, na região nordeste do mosaico (Figura 4.94) além da inicialização ou término de registros em algumas linhas ou perfis, mas de relevância desprezíveis, diante dos resultados obtidos após geração do mosaico.

Os registros sonográficos foram analisados visualmente isolados e em conjunto (porções do mosaico) no programa *ArcGIS 10*. As feições relevantes identificadas foram demarcadas com base na diferença do sinal acústico refletido pelo assoalho e captado pelo *Towfish Side Scan Sonar* e as análises das mesmas tiveram como base padrões de reflexão de

sonar de varredura lateral abordados na literatura (Ayres Neto 1993 e 2001; Quaresma *et al.*, 2000; Figueiredo, 2008; Souza, 2007; Camargo 2005, Frazão 2003, dentre outros).

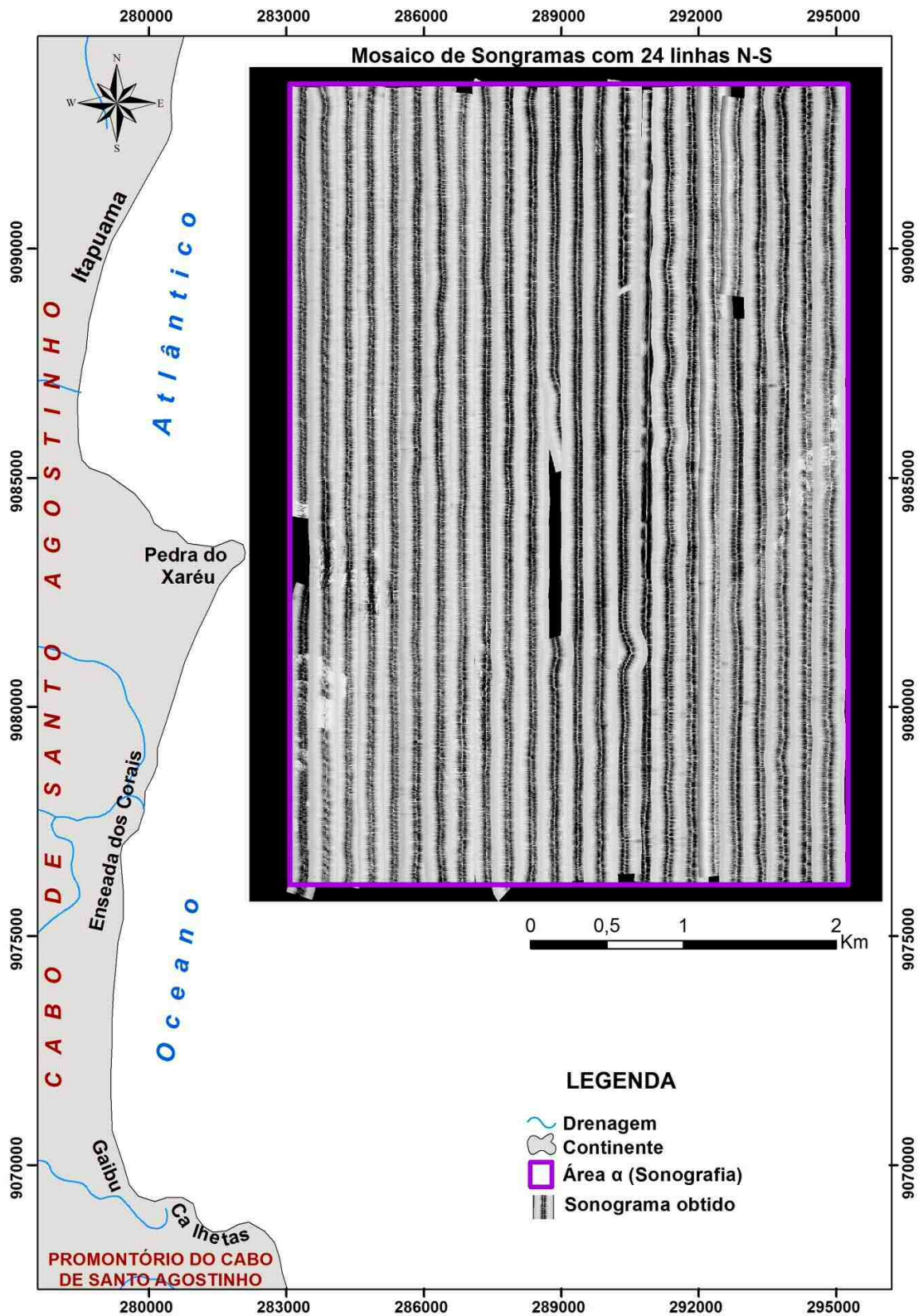


Figura 4.94- Mosaico montado a partir do tratamento e sobreposição dos sonogramas que compõem as 24 linhas obtidas no levantamento sonográfico realizado na área  $\alpha$ .

Analisando os registros sonográficos constata-se de forma geral, que estes apresentam porções com menor refletância (tons mais escuros) provavelmente relacionadas a sedimentos de granulometria mais fina, contrastando com trechos com elevada refletância (tons mais claros) onde possivelmente predominam sedimentos arenosos de fração granulométrica mais grossa. Ocorrências de zonas de elevada refletância com textura mais granular sugerem a presença de cascalhos.

Afloramentos rochosos, cascalhos, sedimentos consolidados e sedimentos da fração areia podem apresentar texturas caracterizadas com uma boa capacidade de refletância do sinal acústico, gerando a ocorrência de porções mais claras associadas.

A seguir apresenta-se uma descrição dos sonogramas, inicialmente analisados em grupos e posteriormente isolados, onde são ilustradas as principais diferenciações de texturas encontradas, propondo-se as atribuições das mesmas e as delimitações das porções onde as mesmas ocorrem no mosaico imageado. Ao final, é apontando a área favorável à exploração, diante da distribuição sedimentar observada.

Os substratos consolidados são bastante expressivos, revelados pelas rugosidades apresentadas por diversos corpos de recifes e também manchas brancas que representam setores com alta refletância enquanto os substratos inconsolidados são visualizados em trechos longos relativamente uniformes (quase sem variação de tonalidade cromática ou ecos de reflexão) conforme abordado adiante.

Os diversos corpos de recifes dispersos no mosaico da Figura 4.94 apresentam tamanhos variados, ocorrendo isolados (polígonos destacados em vermelho) ou agrupados (áreas ou polígonos destacados em amarelo). Frequentemente apresentam-se em formas de corpos abaulados e/ou arredondados quando separados e com formatos alongados a tabulados, quando estão em grupo. Em geral estes se revelam com relevo bem definido.

Próximo à Praia de Ponta do Xaréu, ocorre o crescimento de recifes com forma particular de colunas isoladas, desenvolvidos sobre rochas vulcânicas, apresentando o topo expandido (chapeirões), conforme visto na Figura 4.95.

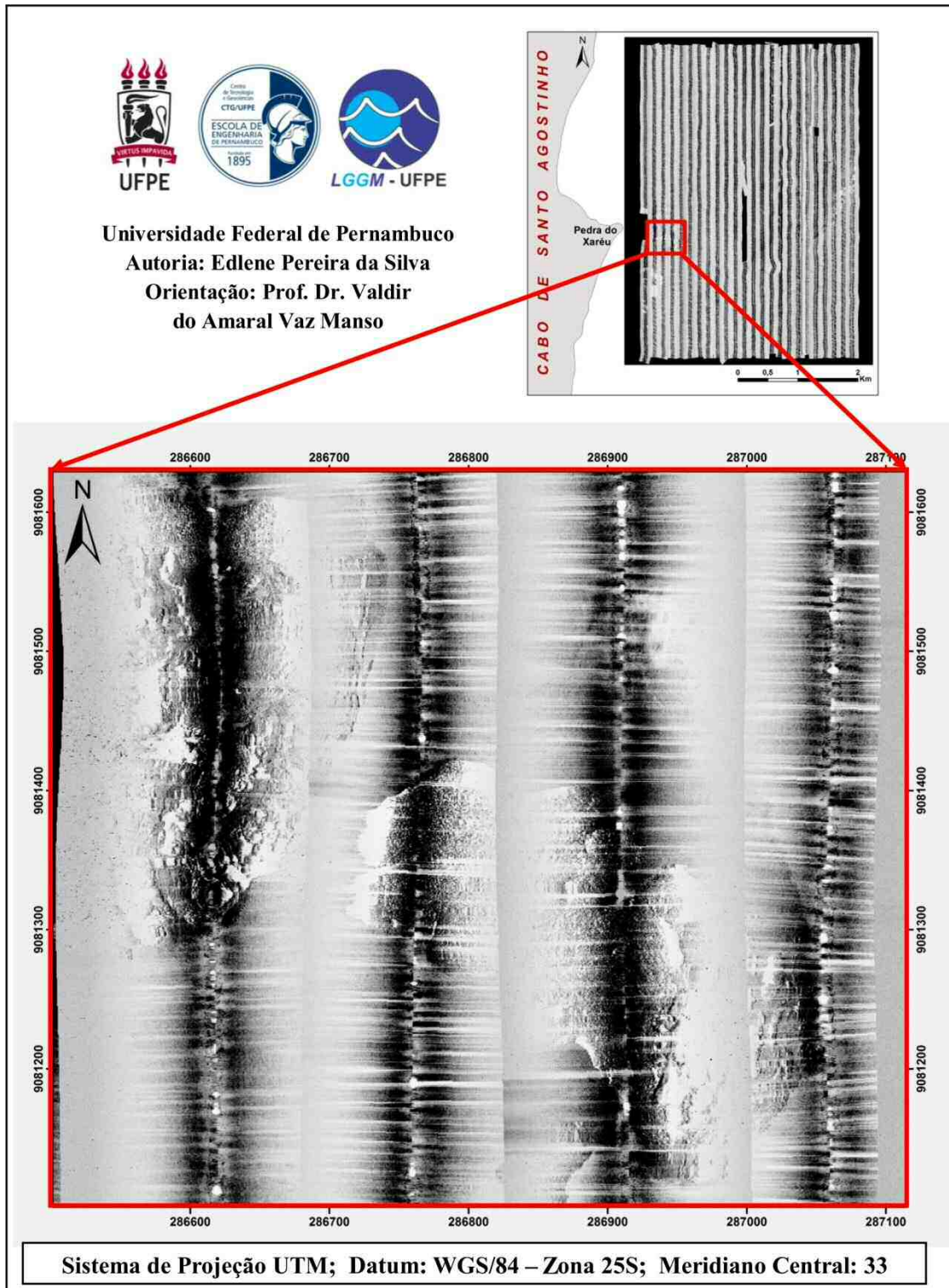


Figura 4.95- Imagem do mosaico sonográfico mostrando recifes desenvolvidos sobre rochas vulcânicas, nas adjacências de Pedra do Xaréu, cujo padrão textural apresenta-se bastante rugoso e com alta refletância.

Posicionadas na região noroeste do mosaico sonográfico, as imagens apresentadas a seguir (Figura 4.96) evidenciam porções bem individualizadas do substrato onde foi visualizado o padrão de reflexão acústica homogêneo cinza claro, o qual é distinto por

apresentar-se sem contrastes ou variações, correspondente a áreas que apresentam substratos inconsolidados.

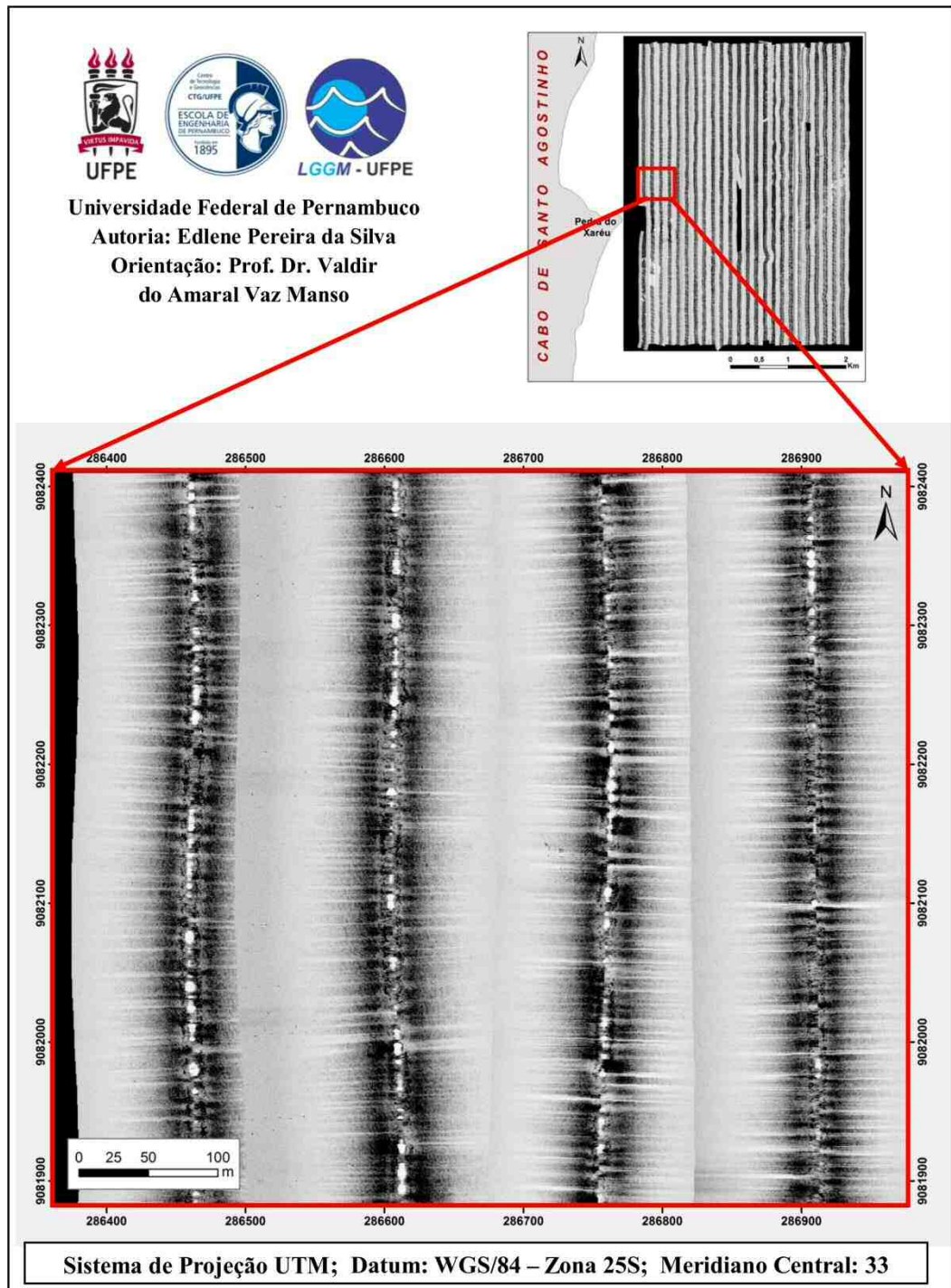


Figura 4.96- Mosaico mostrando imagem uniforme, ausência de rugosidades representando sedimentação não consolidada, a noroeste da área do levantamento.

Nessas áreas (Figura 4.96) caracterizadas por textura uniforme ou com ausência de rugosidades, há predominância de sedimentação arenosa (fração areia grossa e areia média) recobrendo o fundo marinho. Nas porções noroeste e sudeste da área levantada há praticamente ocorrência exclusiva dessa textura (Figura 4.94).

Ao sudoeste do mosaico, na região da Plataforma entre as praias de Pedra do Xaréu e Enseada dos corais observa-se a ocorrência de textura caracterizada por manchas brancas ou setores com alta refletância (Figura 4.97), sugestivas de ocorrências de sedimentos consolidados ou afloramentos rochosos.

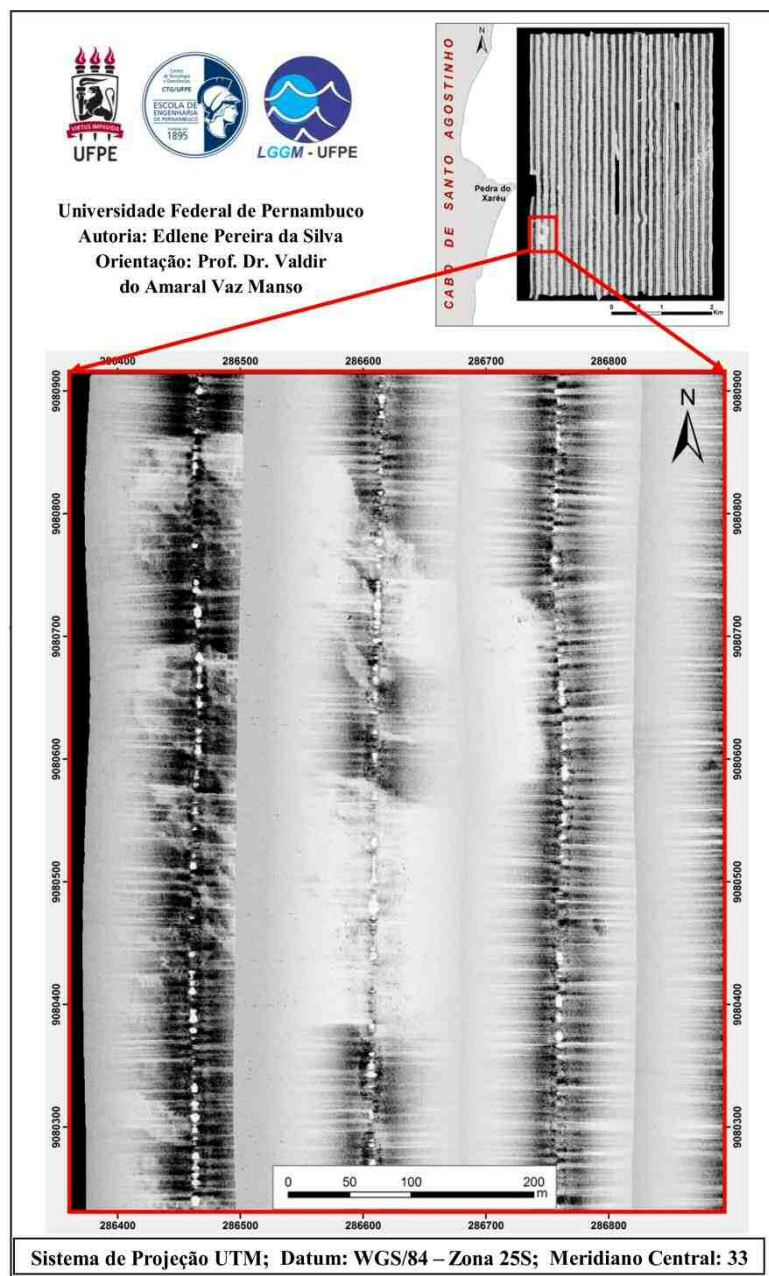


Figura 4.97 - Imagem do mosaico sonográfico mostrando porções com alta refletância, sugestivas de sedimentos consolidados ou afloramentos rochosos.

Examinando os sonogramas individualmente é possível mostrar detalhadamente a identificação de textura com padrões de reflexão características demarcadas, ressaltando as feições relevantes observadas, descritas a seguir de forma concisa.

Dos substratos consolidados alguns dos que mais chamaram a atenção destacam-se na porção oeste, nas adjacências da praia Pedra do Xaréu: corpos vulcânicos recobertos por recifes que apresentam boa reflexão do sinal acústico nas imagens, os quais afloram na superfície da água em períodos de marés de sizígia (baixa-mar extrema) (Figuras 4.98 e 4.99).

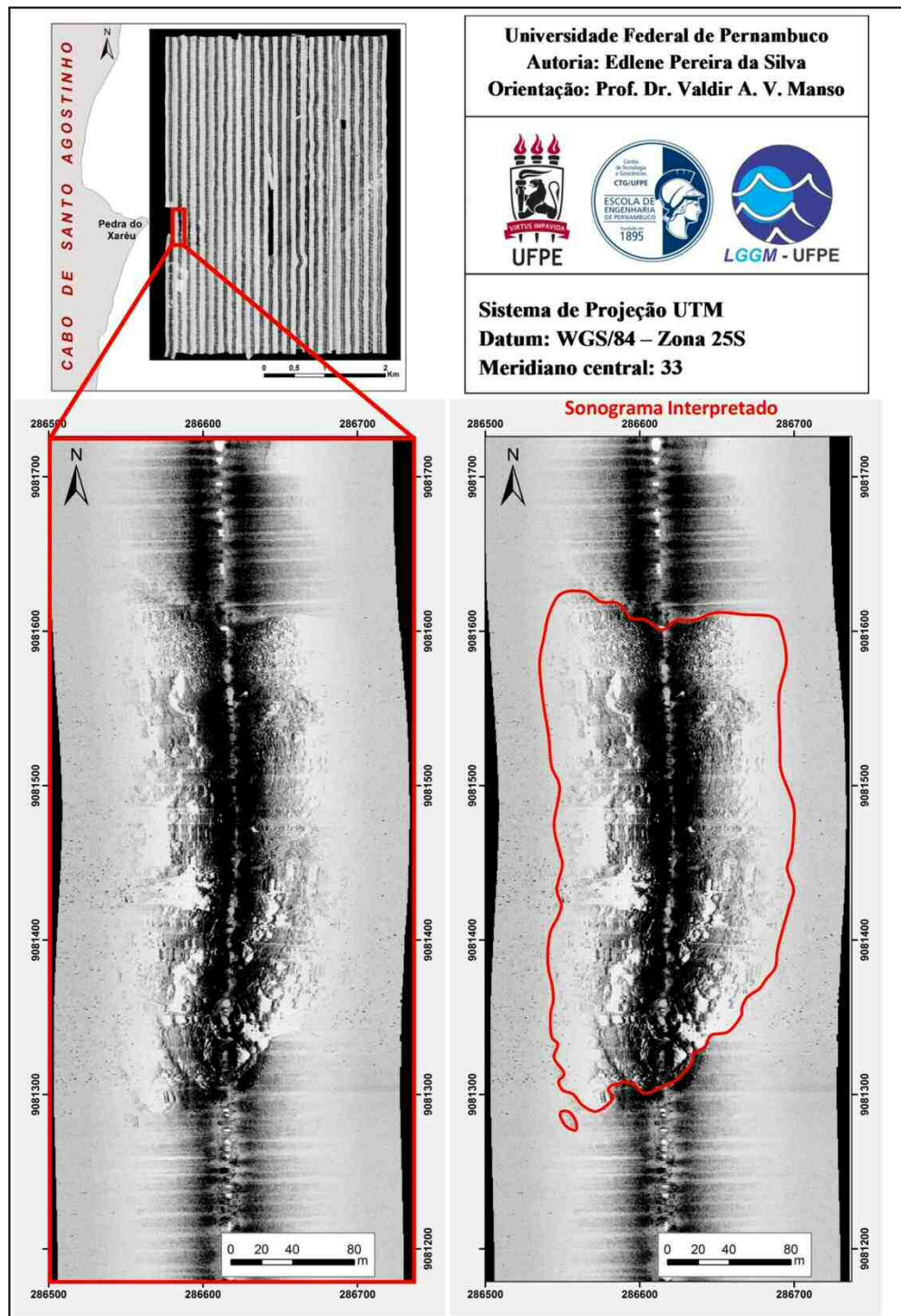


Figura 4.98 – Imagem sonográfica mostrando substratos consolidados (recife colunar desenvolvido sobre rochas vulcânicas) observados na linha 3, pós- processamento das mesmas.

Esses corpos mostram rugosidades marcantes reveladas nos sonogramas pela intensidade de tons claros e escuros, ilustrados em conjunto no mosaico da Figura 4.95 e isoladamente, exibindo detalhes nas Figuras 4.98 e 4.99.

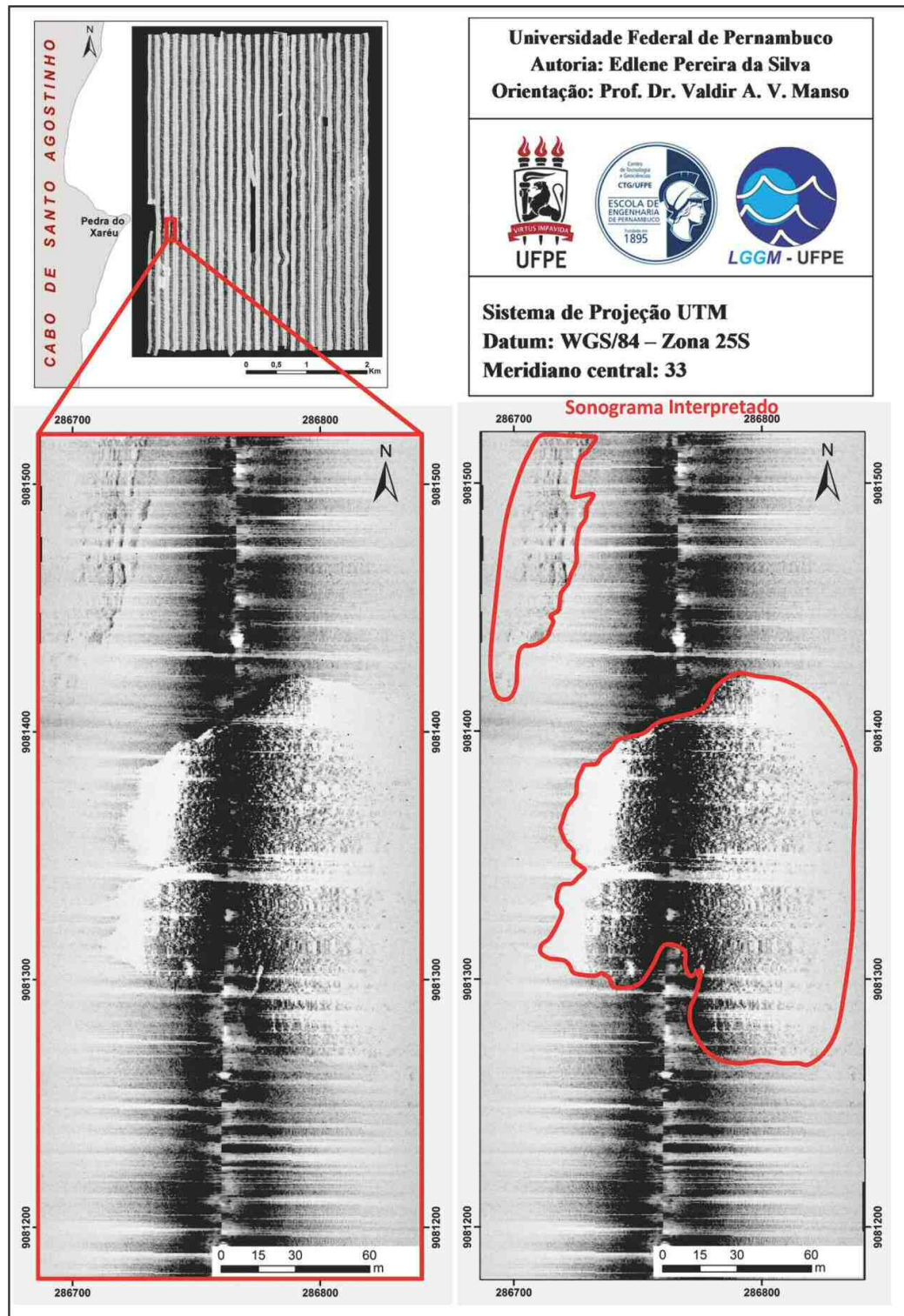


Figura 4.99– Substratos consolidados (recifes sobre rochas vulcânicas) posicionados na linha 4. Destaca-se uma alta refletância (porção esbranquiçada) a oeste do corpo central, atribuída à sombra formada pela pronunciada elevação do corpo.



Uma grande quantidade de recifes aflorantes ao longo do leito marinho é observada, distribuídos principalmente dispersos nas porções norte, nordeste e sul, do mosaico da Figura 4.94. As Figuras de 4.100 a 4.106 ilustram alguns recifes em menores proporções.

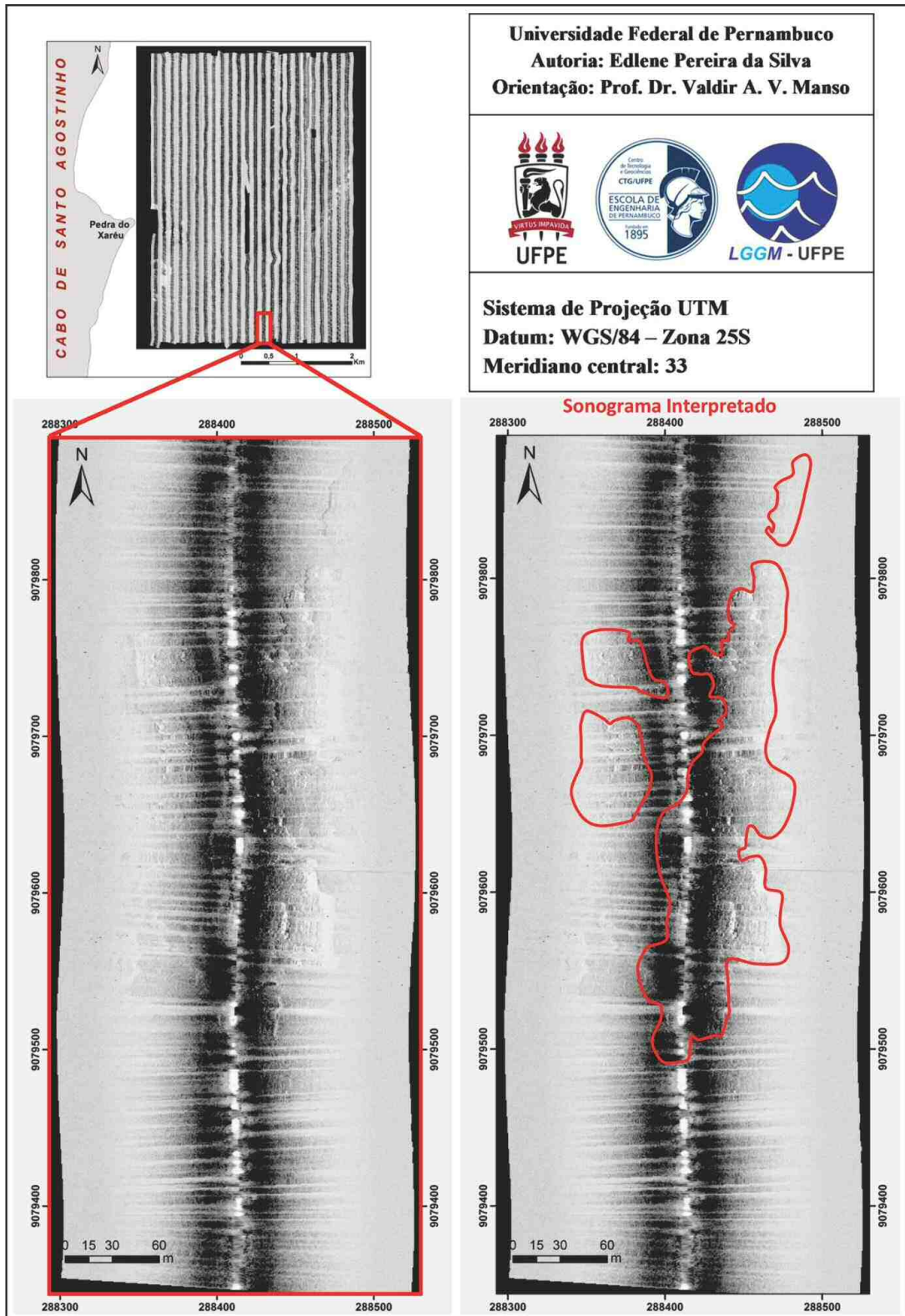


Figura 4.100– Imagem sonográfica da linha 14 mostrando substratos consolidados (corpos de recifes) observados na área sul do mosaico da Figura 4.94.

Estes exibem textura claramente diferenciada em meio ao substrato inconsolidado, podendo ser visualizados isolados ou agrupados, com formatos diversificados como: abaulados, tabulares, alongados, sub-arredondados e outros.

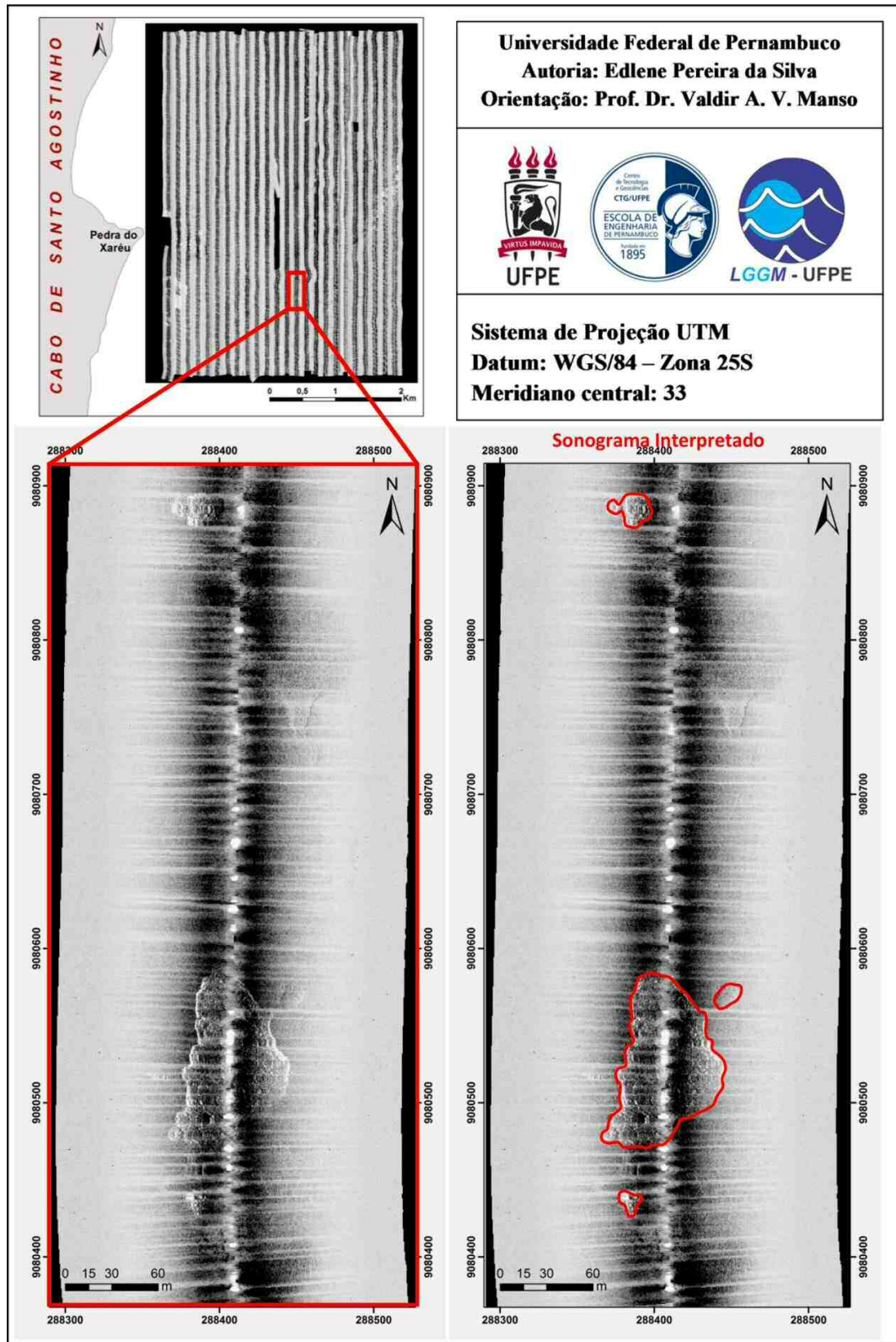
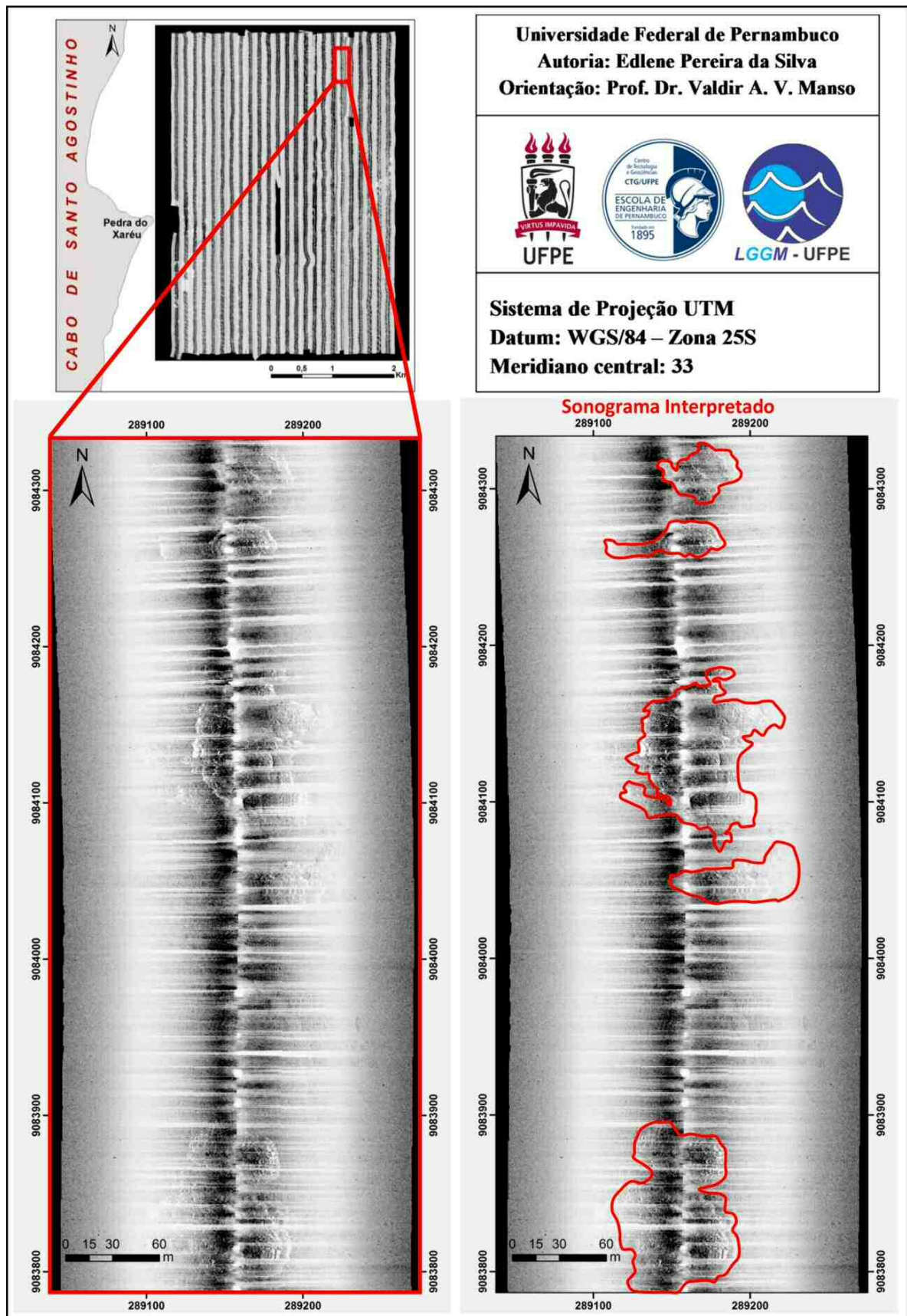
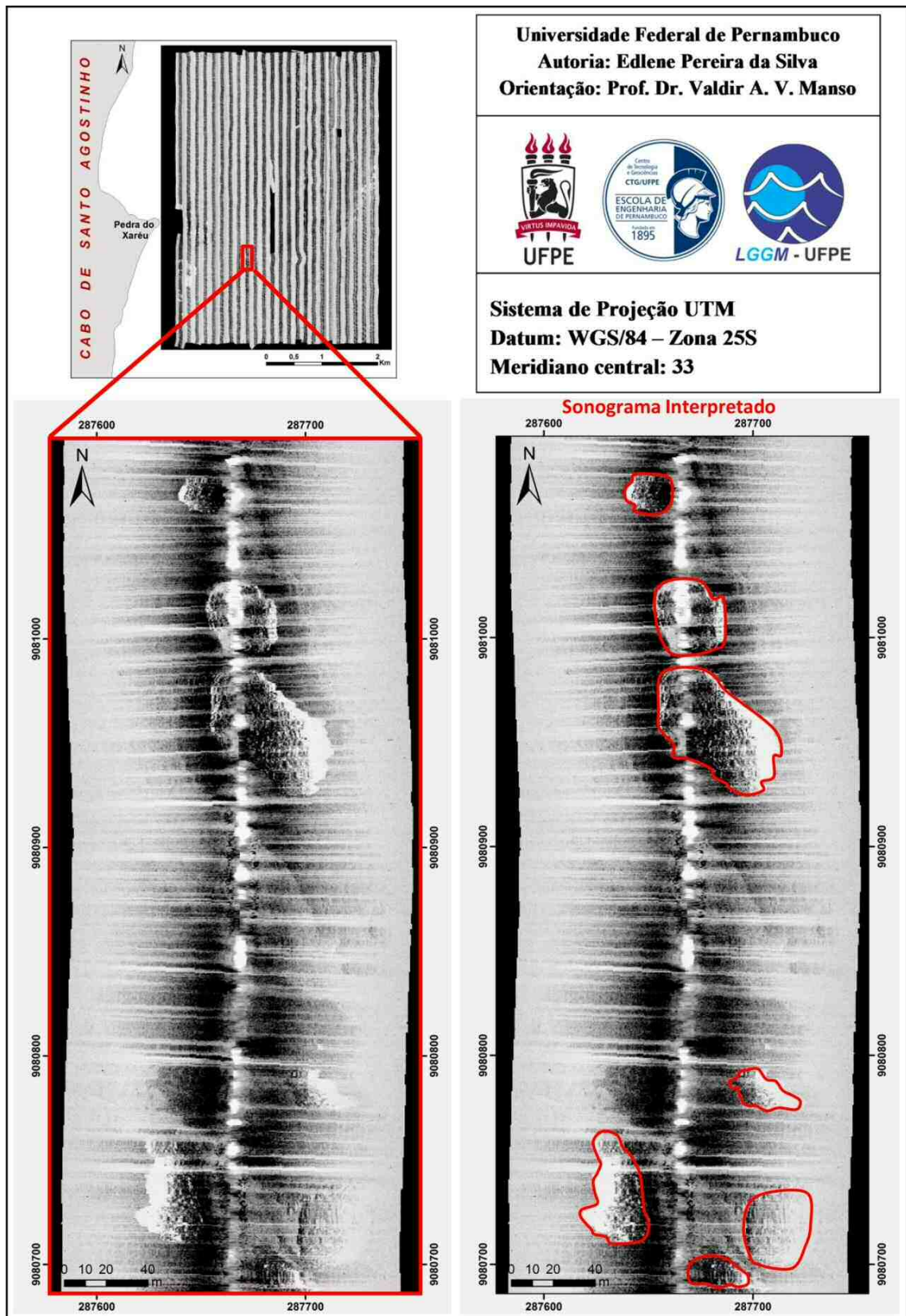


Figura 4.101 – Trecho da imagem sonográfica da linha 14 mostrando uma pequena ocorrência de recife abaulado na porção superior e outro alongado na parte inferior.





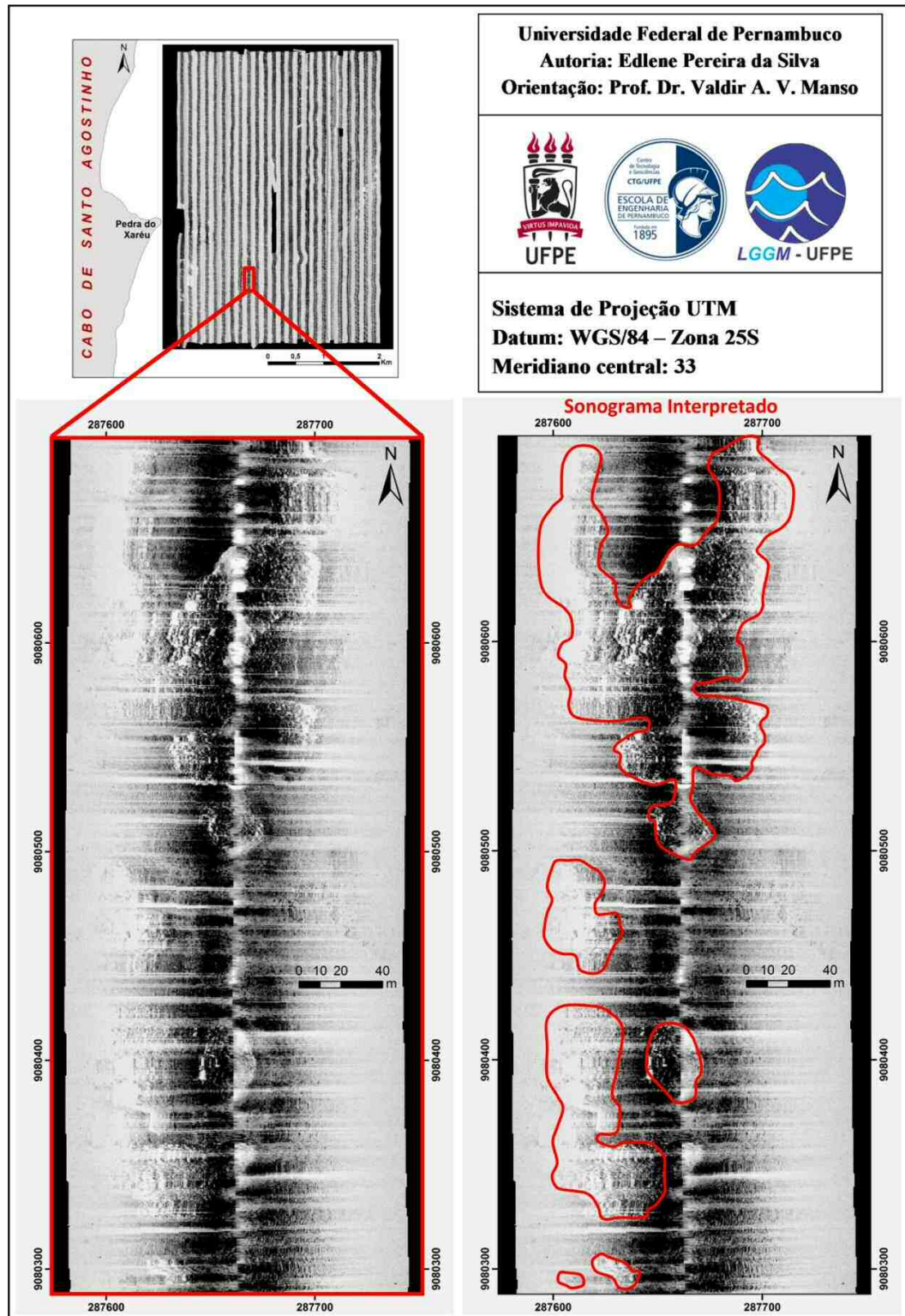


Figura 4.104 – Imagem sonográfica mostrando recifes de coral isolados e agrupados no trecho da linha 09, imediatamente a norte da Figura 4.103.

Os recifes foram facilmente identificados por apresentarem reflexões acústicas diferenciadas, exibindo nitidamente suas formas em algumas imagens sonográficas e estando distribuídos dispersos em meio a áreas com substratos inconsolidados (Figura 4.104).

Manchas esbranquiçadas são observadas nas zonas leste e sudoeste e também em pontos isolados a norte, nordeste e na região central (Figuras 4.94 e 4.105), correspondentes a possíveis concentrações de sedimentos consolidados, fração cascalhosa e/ou biodetríticos, os quais apresentam alta refletância.

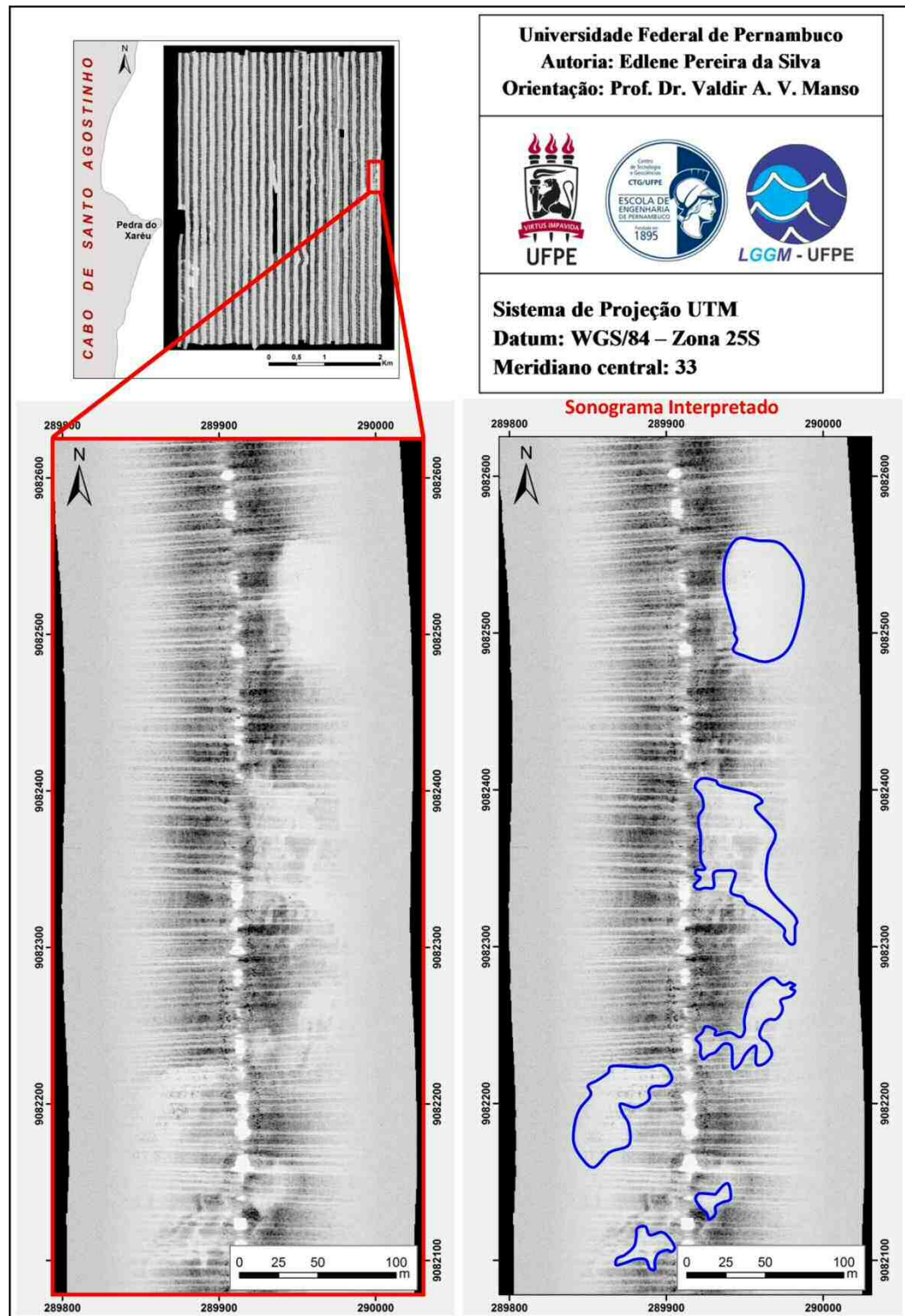


Figura 4.105 – Imagem sonográfica de trecho central da linha 24 mostrando manchas esbranquiçadas - possíveis substratos consolidados, associados a cascalho e/ou biodetríticos.

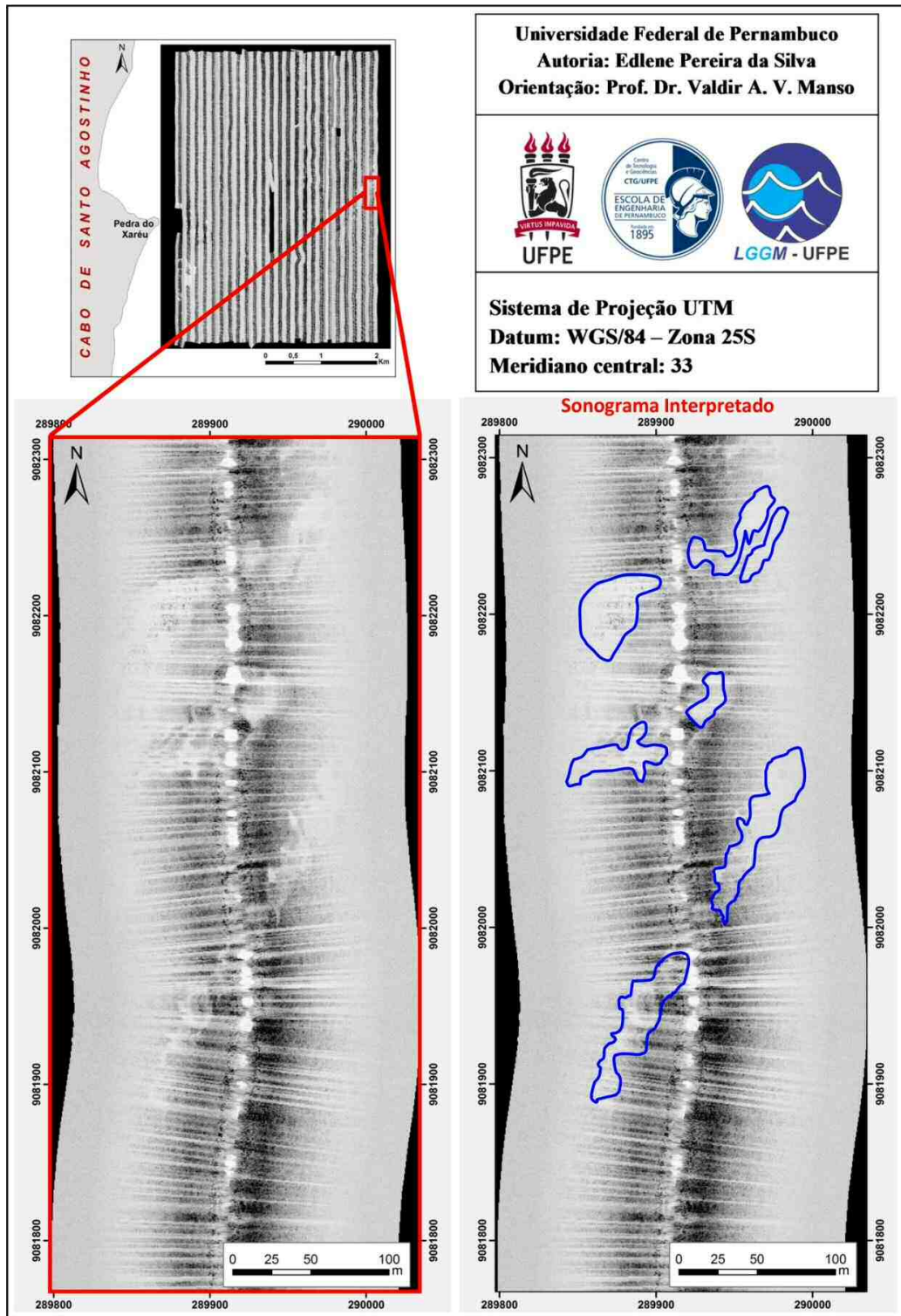


Figura 4.106 – Imagem sonográfica de trecho da linha 24 a sul da figura 4.105 mostrando possíveis substratos consolidados, associados a cascalho e/ou biodetritos.

Também foram identificadas outras feições sedimentares como alinhamentos na porção nordeste que sugerem existência de marcas onduladas (possíveis cristas de dunas ou *mega-ripples*), de direção preferencial NE-SW (Figuras 4.107 e 4.108). Provavelmente trata-

se de estruturas geradas a partir do movimento da sedimentação de fundo, quando a velocidade do fluxo é forte o suficiente para conseguir transportar e acumular clastos, permitindo assim construção e preservação dessas feições, compostas principalmente por sedimentos arenosos. Essa feição sedimentar apresenta comprimentos e distância entre cristas variadas, com poucas interrupções. São bons indicadores de sedimentos arenosos, apontando sentido de fluxo local.

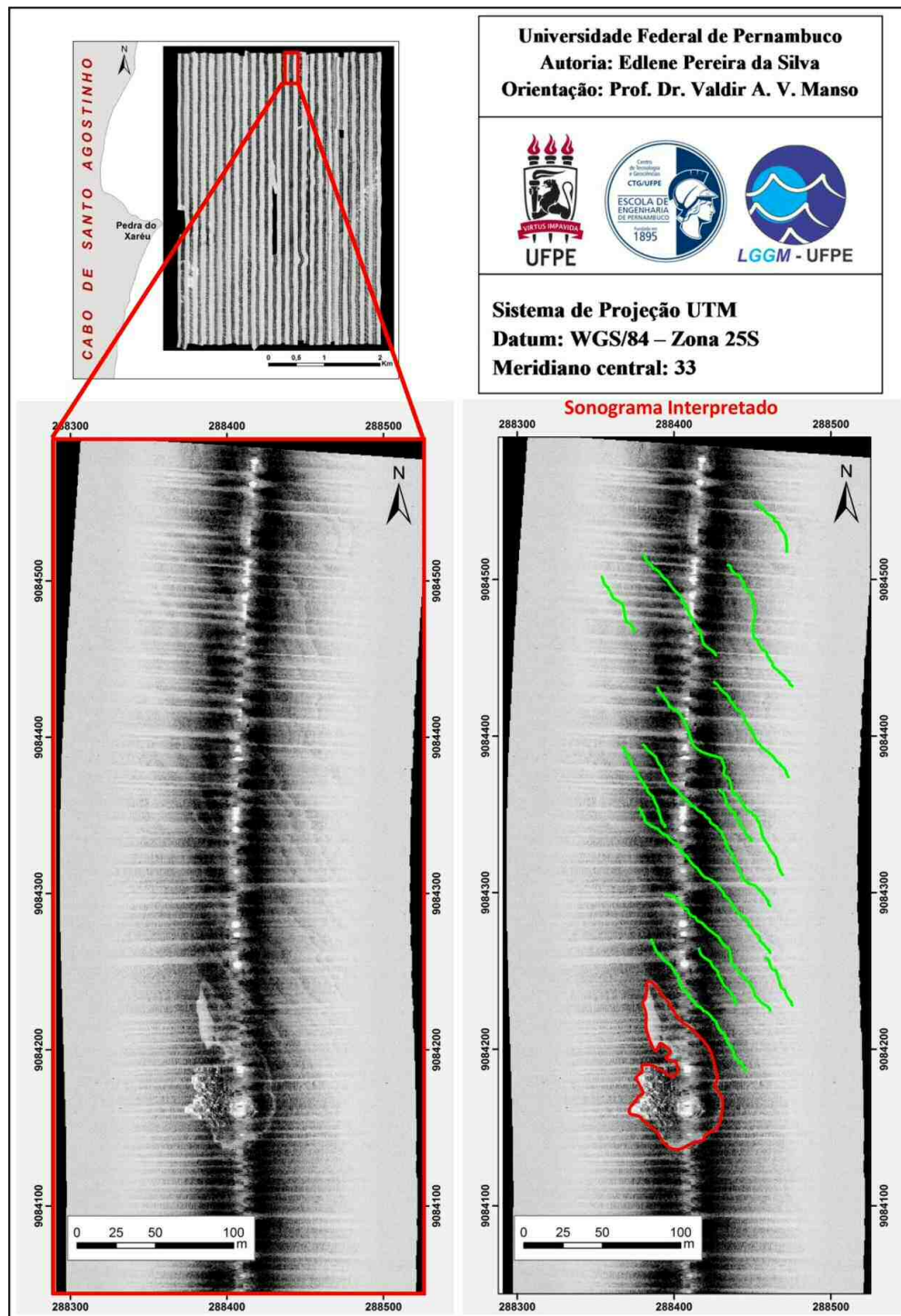


Figura 4.107 – Imagens de perfis sonográficos (Linha 21) mostrando sulcos a NE da área  $\alpha$  estudada - alinhamentos de possíveis cristas de mega-ripples ou dunas em meio ao substrato inconsolidado, com recife abaixo.



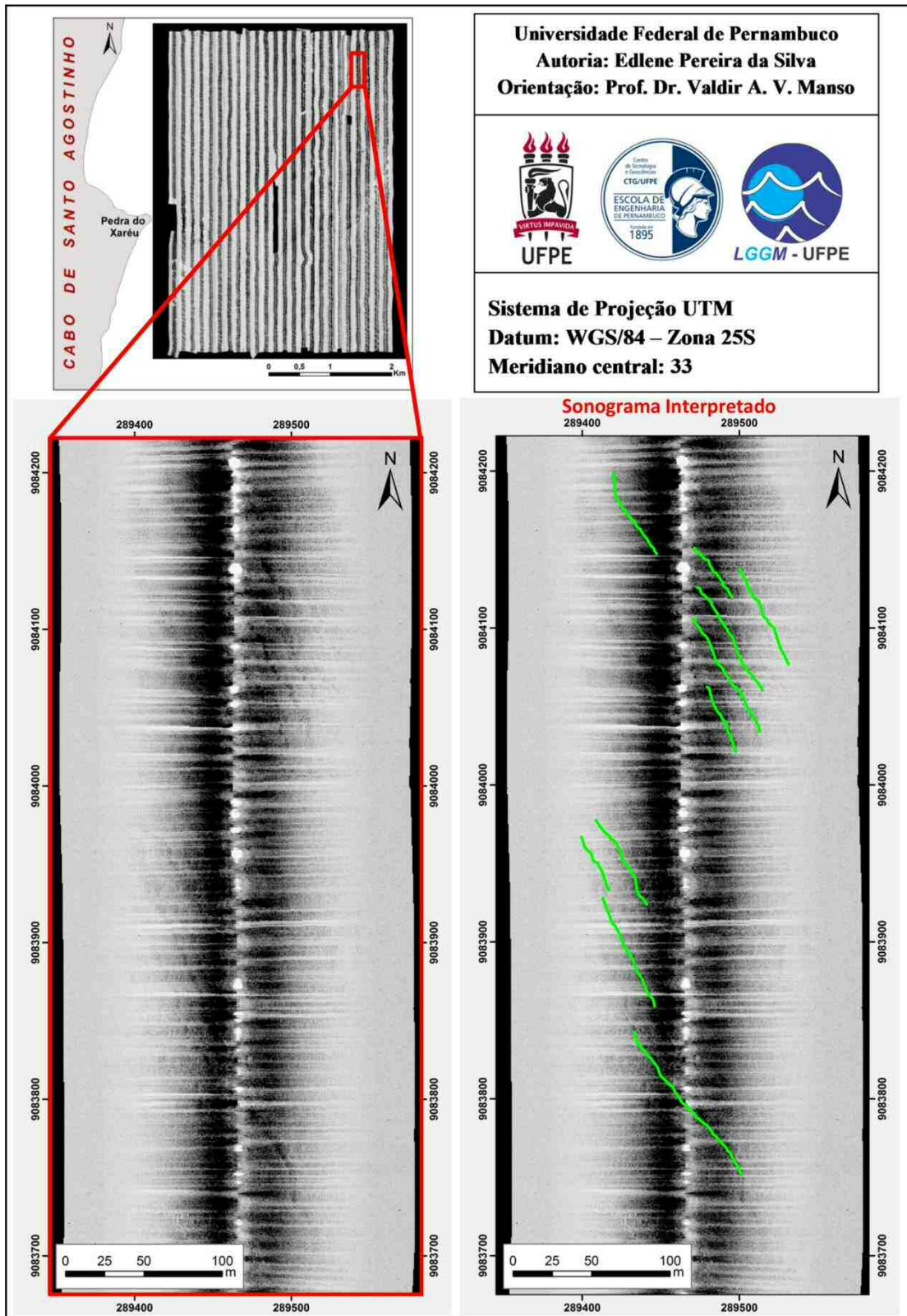


Figura 4.108 – Imagem sonográfica da Linha 21 mostrando sulcos a NE da área estudada: alinhamentos sutis (prováveis cristas de mega-ripples) impressos no substrato inconsolidado.

Salienta-se que nem sempre as técnicas de filtragem apresentam resultados eficazes na eliminação dos ruídos, gerando em alguns casos registros com interferências relevantes

advindas dos mesmos. Por isso, ao longo da interpretação, foram observadas também as estruturas e padrões texturais, além da tonalidade, relacionando com os dados sedimentológicos e batimétricos obtidos atrelados ao conhecimento prévio do contexto geológico – estrutural da área estudada.

Para melhor apresentar a interpretação dos dados sonográficos obtidos na área  $\alpha$ , foram traçados polígonos e linhas sobre o mosaico (Figura 4.109), a fim de ressaltar o posicionamento dos diferentes substratos e feições identificados nas imagens. Desta forma, foi revelada a distribuição superficial dos sedimentos, apresentando como resultado praticamente toda porção a NW da área  $\alpha$  como apta à exploração.

Os diversos corpos de recifes dispersos no mosaico supracitado apresentam tamanhos variados, ocorrendo isolados (polígonos destacados em vermelho) ou agrupados (áreas ou polígonos destacados em amarelo). Frequentemente apresentam formas de corpos abaulados ou arredondados quando estão separados e formatos alongados, quando estão em grupo.

Sintetizando os estudos sonográficos, ressalta-se que as texturas abordadas de maior destaque nas imagens sonográficas descrevem as características superficiais da distribuição observada, com ênfase na natureza composicional e na extensão lateral de possíveis bancos de areia que compõem a morfologia de fundo. Destas, mereceram atenção especial:

- A ocorrência de sedimentação inconsolidada aliada à presença de substratos consolidados dispersos é predominante na área estudada.
- Importantes substratos consolidados são representados na área explorada principalmente por associações de recifes de coral e por ocorrências de rochas vulcânicas, a oeste e também a centro-sul, por vezes recobertas por recifes. As rochas vulcânicas chegam a ser expostas em períodos de marés de sizígia, conforme se constata nas imagens de Sensoriamento Remoto.
- Padrões texturais dos sonogramas que apresentam forte indicação de substratos consolidados (principalmente afloramento rochosos, sedimentos consolidados e concentrações de recifes) são destacados em porções maiores do mosaico a S, SSW, WSW e E; são ainda encontrados de maneira isolada em quantidades menores a NE (Figura 4.109), disseminados principalmente em forma de corpos abaulados e/ou tabulares. A presença destas feições indicam áreas a serem evitadas durante a busca de jazida para engorda de praias.
- Praticamente toda porção a NW da área  $\alpha$ , onde se realizou o levantamento sonográfico apresenta-se apta à exploração, quanto à textura superficial do oceano.

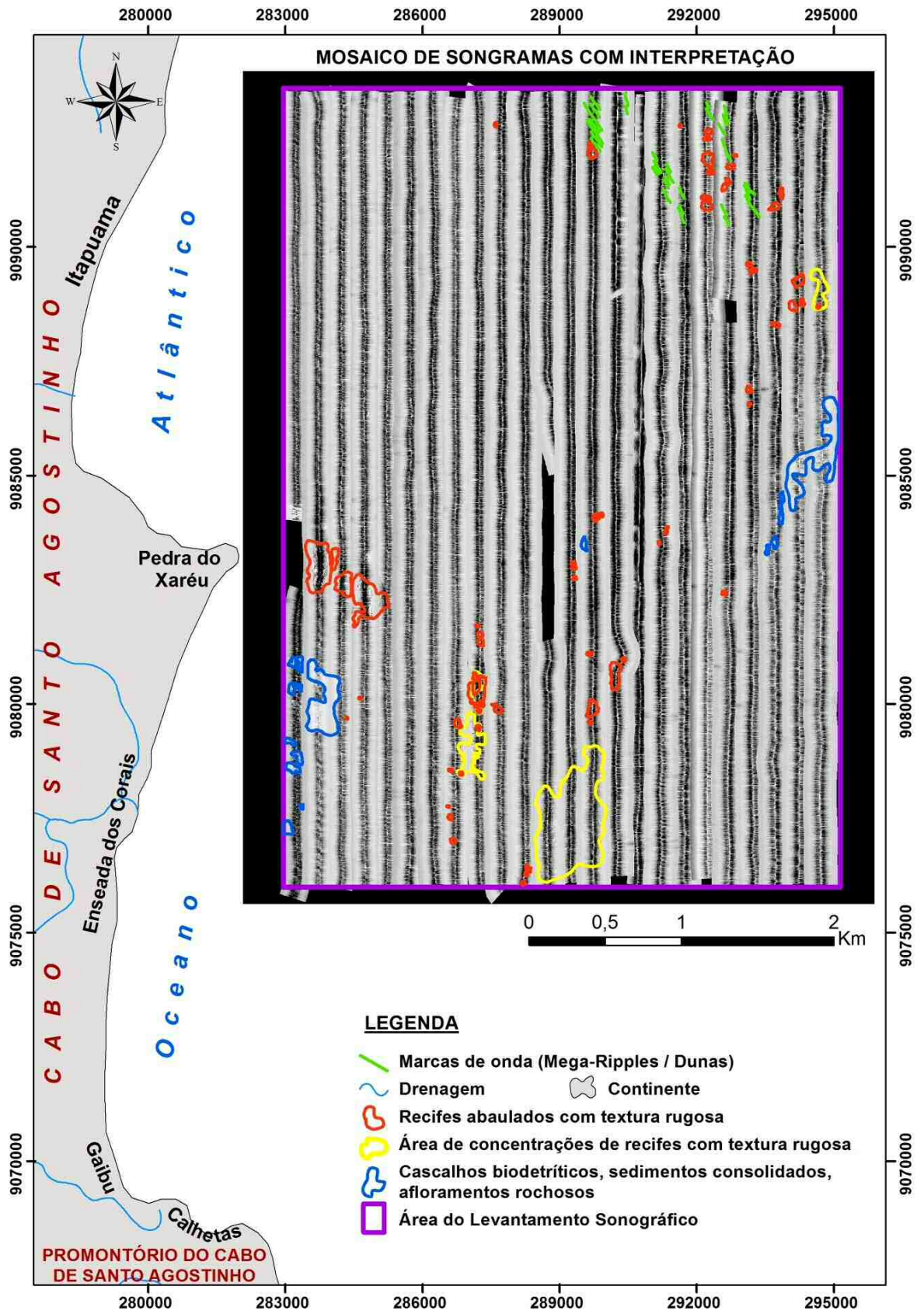


Figura 4.109- Mosaico com sobreposição das feições características observadas na área de estudo.

#### 4.5 MAPA DE INTEGRAÇÃO DOS DADOS

A Figura 4.110 apresenta o Mapa da Integração dos dados, onde se visualizaram as áreas abrangidas por todos os métodos de estudo desenvolvidos.

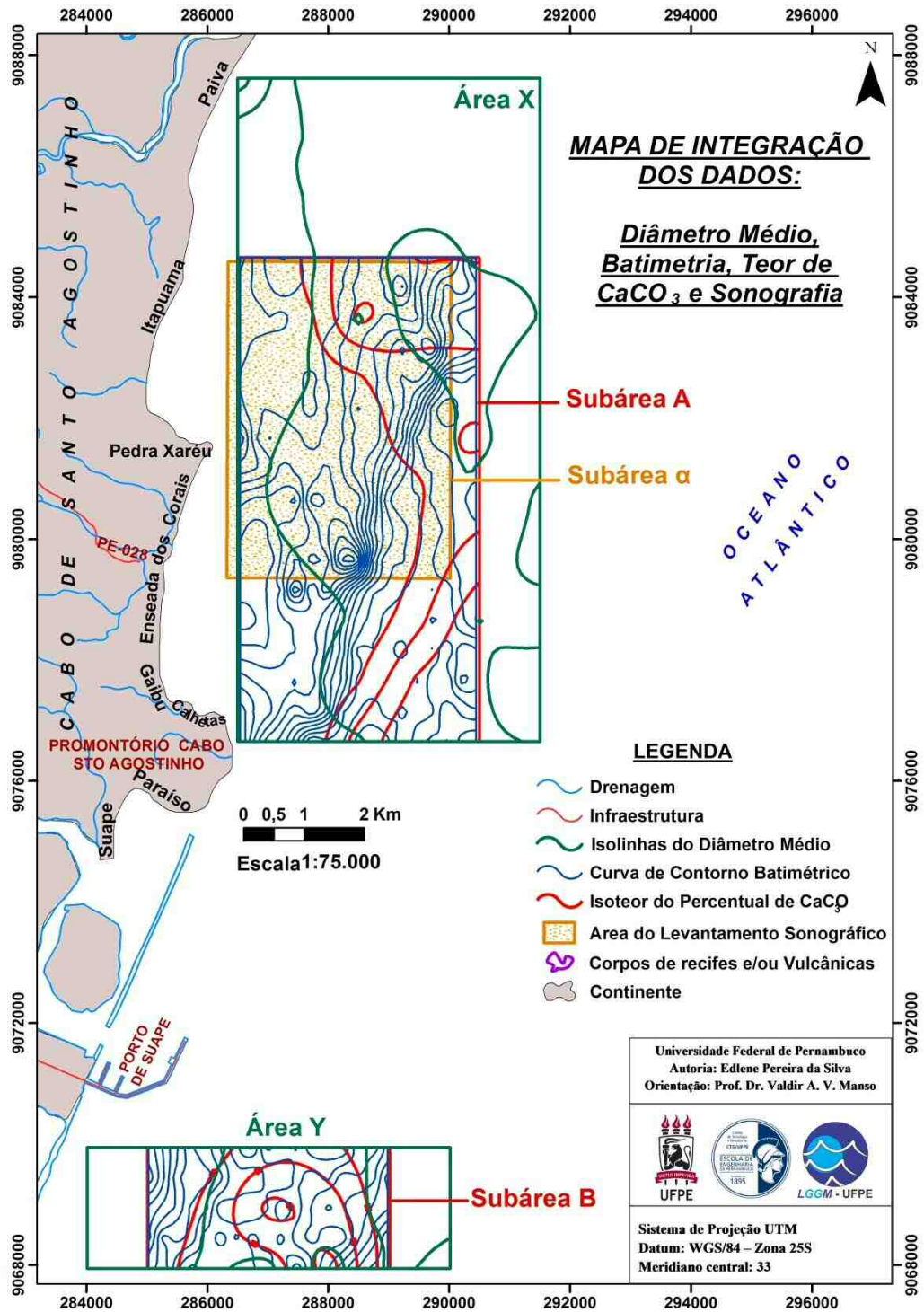


Figura 4.110- Mapa de integração dos dados, ilustrando as áreas de realização dos levantamentos.

Este mapa é composto pelos dados em sobreposição: Mapa do Diâmetro Médio (mostrando em verde) interno às áreas X e Y iniciais onde foi realizado o levantamento sedimentológico; as curvas de contorno batimétrico (em azul) e curvas de Isotecor de  $\text{CaCO}_3$  (em vermelho), as quais delimitam as subárea A e B e por fim, destacado em amarelo a área  $\alpha$  onde a partir da integração dos resultados se efetuou em sequência o levantamento Sonográfico e posteriormente a seleção da área da jazida.

## CAPÍTULO 5 – CÁLCULO VOLUMÉTRICO DA JAZIDA

### 5.1 GENERALIDADES

O cálculo volumétrico de um determinado depósito mineral pode ser feito com base em sondagem testemunhada ou em trabalhos mineiros. No caso específico das areias, os cálculos geralmente são baseados em resultados de sondagem auxiliados por métodos geofísicos de prospecção como a sísmica (refração e reflexão). Para determinação da expressão superficial, podem ser utilizados métodos diretos como sondagem ou indiretos, através de resultados batimétricos.

As reservas são classificadas em Medidas, Indicadas e Inferidas (Maranhão, 1982). São consideradas Reservas Medidas aquelas cujo erro máximo é de 20%. As Reservas Indicadas são aquelas em que o erro está compreendido entre 20 e 40%. São consideradas Reservas Inferidas aquelas cujo erro é maior do que 40%. Os cálculos dos erros são feitos estatisticamente com base no número de furos feitos, no coeficiente de variação e na constante de Student. Uma vez que não foi possível fazer uma estimativa precisa do erro percentual, é preferível indicar o resultado da estimativa volumétrica como um recurso mineral a ser explorado.

Com relação às areias silicicláticas da Plataforma Continental de Pernambuco, têm-se registro de dados de espessuras em áreas circunvizinhas com base em sondagem, entretanto, não é possível extrapolar dados de espessura média de outras áreas, pois acarretaria um erro significativo nesta inferência, face às variações locais faciológicas e de espessura fora da área de influência do depósito.

Vale ressaltar que este cálculo é tão somente uma estimativa devido à reduzida quantidade de dados obtidos em sete furos de sondagem testemunhada, que permitiu fazer um estudo da natureza composicional em profundidade, mas em número insuficiente para a realização de uma análise estatística mais acurada. Para um processamento estatístico, seria requerida uma maior população de dados, porém apenas oito destes atestam a presença de areia própria para uso em regeneração de praias degradadas. O ideal seria fazer uma

campanha de sondagem preliminar em pontos estratégicos, e com os resultados obtidos calcular o coeficiente de variação do depósito que serviria para determinar o número ótimo de sondagem e a partir daí fazer furos testemunhados para uma proporcionar os cálculos de uma cubagem mais precisa. Para tanto, poderia ser aplicado o processo da área de influência para o cálculo das reservas (Maranhão, 1982).

## 5.2 ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DO DEPÓSITO

### 5.2.1 Granulados Siliciclásticos

Em função das características mineralógicas específicas para utilização do material sedimentar em recuperação de praias, ou seja, material siliciclástico com teor abaixo de 30% de carbonato de cálcio foi selecionada uma área indicativa de acumulações disponíveis para o fim desta pesquisa (Figura 5.1).

Com o apoio de informações de 14 testemunhos de sondagem *vibracore*, posicionados como apresentado na Figura 5.1 e classificados de acordo com a descrição da análise táctil-visual registrada no Relatório da CB&I (2003a), 08 (oito) deles foram considerados ‘bons’ por conterem sedimentos nas frações areia grossa a areia fina, em camadas com espessura de até 3m e pouca ou nenhuma presença de material carbonático. Os seis testemunhos restantes foram rotulados como ‘ruins’, por apresentarem sedimentos predominantemente argilosos e/ou com material carbonático.

Dos oito testemunhos considerados ‘bons’ apenas sete foram utilizados para delimitar a área da jazida e calcular a espessura média, pelo fato destes estarem posicionados próximos entre si, oferecendo maior confiabilidade na aptidão sedimentar analisada. Considerando que o testemunho T7 encontra-se posicionado fora e a norte da área selecionada, bem como próximo à curva limite de isoteor de  $\text{CaCO}_3$ , a partir da qual ocorre um empobrecido em siliciclastos na direção leste, seus dados não foram computados no cálculo volumétrico. (Figura 5.1)

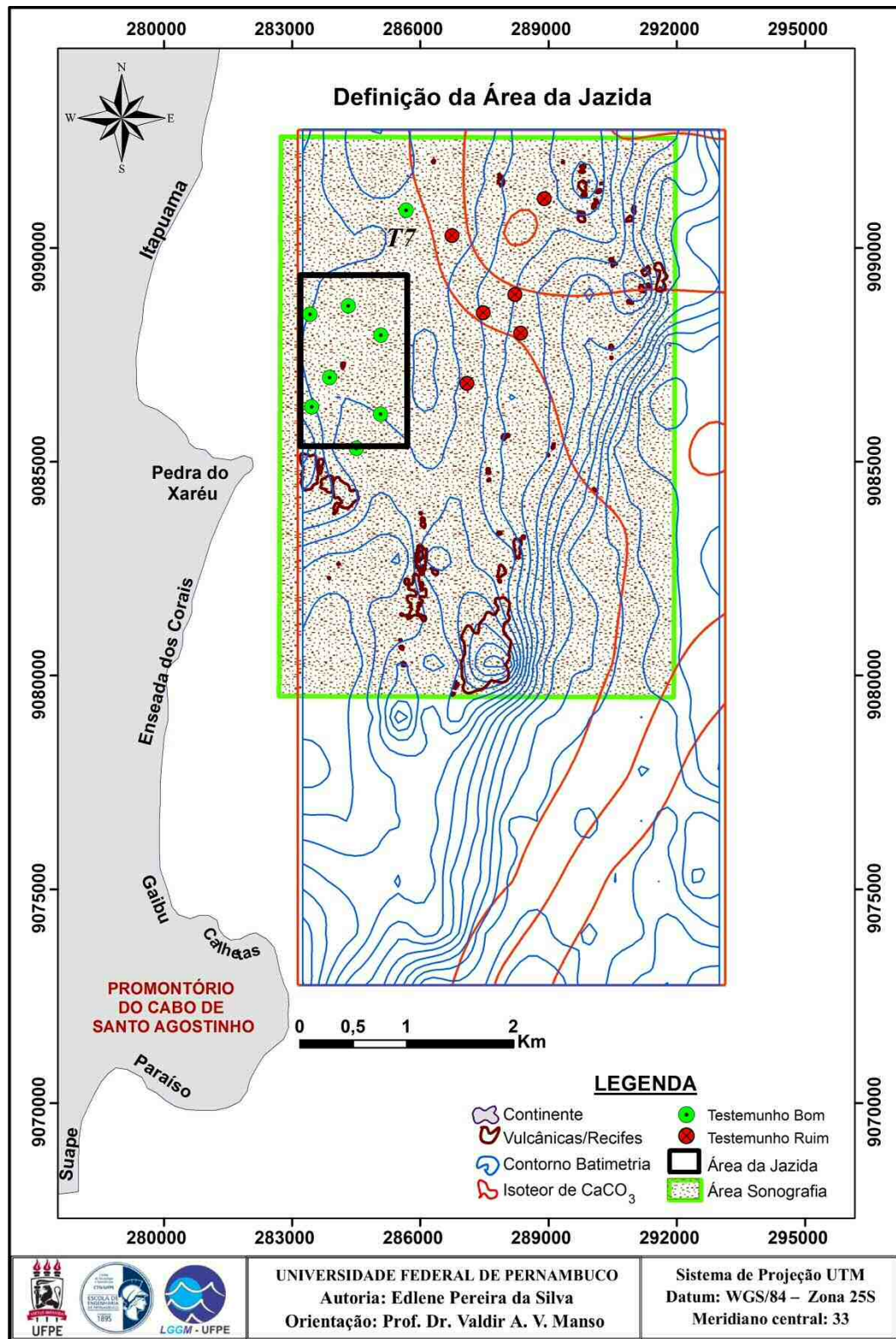


Figura 5.1 – Mapas de integração dos dados com área selecionada para jazida e a localização dos furos testemunhados.

Em resumo, para o cálculo estimativo do volume da jazida foi então considerada a espessura média dos sete testemunhos ‘bons’ dentro da área selecionada com sedimentação que de fato reuniu características desejáveis capaz de compor um depósito para fornecimento



de areia de empréstimo, contendo cerca de 70% a 90% de material siliciclástico, como ressalta o mapa da Figura 5.2.

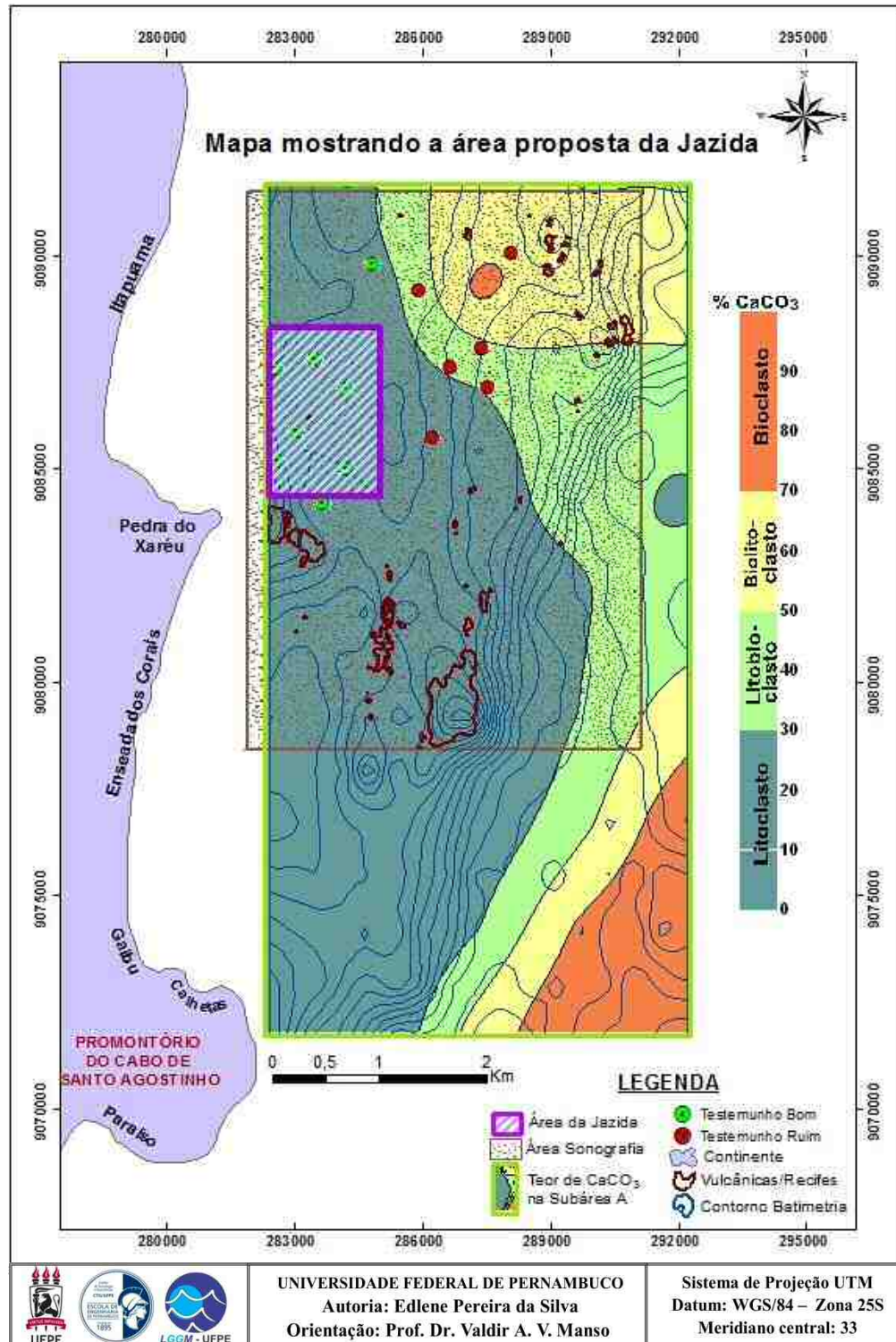


Figura 5.2 – Mapa mostrando a delimitação da área da Jazida sobreposto ao mapa do isoteor de CaCO<sub>3</sub>.

Os dados de sondagem de testemunho *Vibracore* foram obtidos do relatório CB&I (2003a) gerado para a SEMAS – Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado de Pernambuco, dentro do Projeto de Recuperação das Orlas Marítimas dos municípios de

Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda e Paulista. Este projeto foi executado pela Companhia CB&I (Chicago Bridge & Iron Company) e é baseado em estudos desenvolvidos de prospecção e cubagem de jazida submarina em sedimentos arenosos, para engorda de praias, recuperando até o momento alguns trechos do litoral pertencentes ao município de Jaboatão. Os 8 (oito) testemunhos seleccionados encontram-se ilustrados na Figura 5.3.

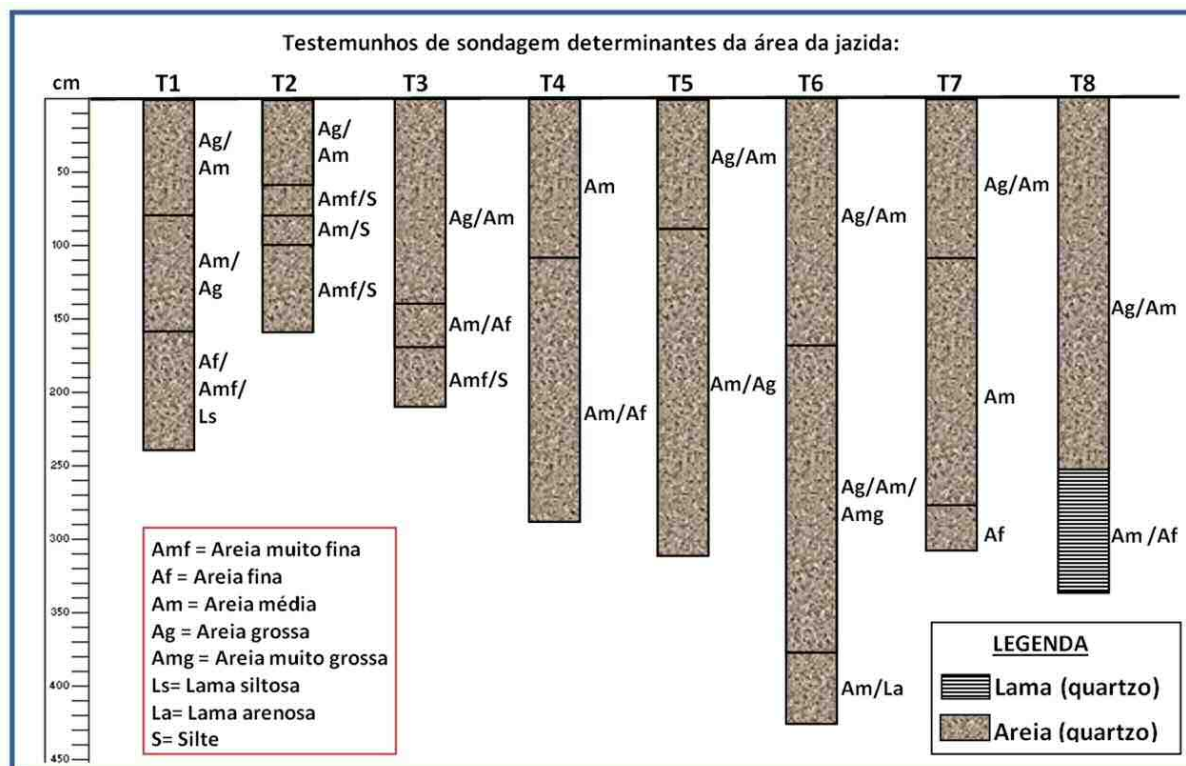


Figura 5.3 – Representação esquemática dos resultados das análises dos testemunhos bons (T1 a T8), obtidos pela empresa C&B durante campanha de testemunhos geotécnicos. (FONTE: Montado a partir do Relatório CB&I 2013b).

Na maioria dos testemunhos apresentados, é possível observar a absoluta predominância da fração areia tipo siliciclástica, registrando apenas uma pequena ocorrência da fração lamosa no final do testemunho T8.

Salienta-se que nas estimativas de volume de jazida em todas as profundidades dos testemunhos, foi considerado o valor de amortização – também conhecido como valor de sobre-dragagem ou área tampão –, a partir do qual o material de fundo não deve ser extraído, em função da sua sustentabilidade. Seguindo normativas definidas pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (USACE) a CB&I Company considerou o referido valor de amortização igual a 0,6 m. Decorrente dessa necessidade preserva-se então 60 centímetros de profundidade nesta área tampão, na qual por medida de segurança será mantida sem ser dragada, após a retirada do material sobreposto (capa).

As coordenadas do depósito, dados da superfície de abrangência, espessura média medida dos sete testemunhos considerados ‘bons’ (descontando a espessura do valor de amortização) e o resultado da estimativa volumétrica são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados para cálculo do volume da jazida.

Área	Coordenadas UTM		Superfície (m <sup>2</sup> )	E* (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
A	287554,1594	9081782,0754	1.300.813,58	2,086	2.713.497
	287554,1594	9083327,3913			
	286545,4630	9081198,3913			
	286545,4630	9083327,3913			

\* espessura média dos testemunhos *vibracore*, descontado o valor de sobre-dragagem.

### 5.3 ASPECTOS CONSIDERADOS PARA ESTABELEECER OS LIMITES DA JAZIDA

É importante destacar que alguns critérios foram adotados para delimitação de jazidas marinhas siliciclásticas. Em projeto desenvolvido para exploração na área de estudo e circunvizinhanças, (CB&I 2013a), são apontados fatores relevantes para determinação dos limites horizontais e verticais da jazida mapeada, alguns dos quais foram ponderados e aqui considerados. Estes se encontram mencionados a seguir, abordando os processos utilizados na eliminação de áreas que não apresentem interesse para o projeto.

Foram utilizados critérios tanto no âmbito de determinação dos limites horizontais como para estabelecer limites verticais da jazida. Os três principais critérios apreciados para determinação dos balizes horizontais foram:

- Limitação de distância de 150 metros das bordas de estruturas rígidas de superfície (cascos e recifes);
- Limitação de distância com estruturas rígidas de subsuperfície.
- Determinação das áreas de influência dos testemunhos geotécnicos: as características granulométricas e de penetração apontadas em cada testemunho foram extrapoladas a um raio em torno de 300 metros de alcance.

Um fator limitante vertical adotado foi determinado com base na profundidade de penetração alcançada nos testemunhos geotécnicos, uma vez que abaixo da profundidade máxima de penetração o material é desconhecido, e, por conseguinte, foi acatado como desqualificado para uso na cubagem da jazida.

#### 5.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

Alguns aspectos de sustentabilidade são imprescindíveis de serem considerados durante a exploração de recursos minerais marinhos, no caso, objetivado a busca de areias siliciclásticas, a fim de evitar possíveis impactos negativos tanto no local apontado para extração dos sedimentos quanto nas áreas que receberão o material dragado.

Para o primeiro caso, são indicados como necessários estudos intensivos de impacto de extração da jazida através de modelagem numérica, os quais devem incluir a não alteração da dinâmica costeira atuante. Tais estudos visam prevenir, por exemplo, a incidência de aumento na energia de onda e consequente desequilíbrio do sistema local, causando o surgimento de focos de erosão nas praias adjacentes em áreas que antes se apresentavam equilibradas, do ponto de vista do balanço sedimentar.

Fatores de risco a serem considerados referem-se à alteração de ecossistemas sensíveis como os recifes coralíneos, chegando até mesmo a destruir a biota circundante. Ressalte-se ainda a importância de estudos sobre a existência de contaminantes diversos nas areias de jazidas subaquáticas, uma vez que devem estar isentas de metais pesados e substâncias organocloradas, porquanto ao ficarem expostas à superfície, não provoquem poluição nas praias a serem regeneradas, já que os poluentes em superfície são mais danosos do que em subsuperfície, por possibilitar o contato direto com a população humana.

Outro parâmetro importante é o bom dimensionamento do tipo de grão que servirá de material de empréstimo, posto que deva ser compatível com a granulometria original da praia a ser regenerada. Esse estudo é demasiadamente importante, pois é através dele que poderá ser averiguado algum possível impacto da dragagem da área de jazida nas praias adjacentes, considerando ainda um teor de finos inferior a 5%.

Outro aspecto importante são os estudos de viabilidade econômica do empreendimento. A proximidade entre a área fonte de fornecimento e os grandes centros consumidores (local de utilização) é um fator econômico favorável, bem como os acessos e o transporte de grandes volumes de material entre estes. A maior parte das reservas e áreas estabelecidas para extração se encontram em profundidades inferiores a 50 m, o que é perfeitamente recuperável usando-se a tecnologia corrente de dragas mecânicas e hidráulicas (Silva *et al*, 2000).

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

A análise dos parâmetros (Diâmetro Médio, Desvio Padrão, Assimetria, Curtose) e do Mapa de Fácies Textural subsidiou o conhecimento da natureza granulométrica dos sedimentos, a qual apresenta variabilidade maior para a área X em relação à área Y. A sedimentação do assoalho marinho estudado através da coletada de amostras, análise granulométrica e estatística, apresentou dimensões de grãos variando desde a fração areia muito fina a cascalho, preponderando para a área X as frações areia média e areia grossa (74,39%) granulometria de interesse para a pesquisa ora desenvolvida. Para a área Y, menos da metade da sedimentação apresenta granulometria de interesse (47,62%). Do ponto de vista das análises da fácies textural, a sedimentação apresentou distribuição predominante da fácies areia para área X e Areia Cascalhosa para a área Y.

Para fins de prospecção de sedimentação adequada para regeneração de praias, a área X mostrou-se mais indicada para a exploração em relação à área Y, do ponto de vista granulométrico, sendo redirecionados os estudos geofísicos apenas para áreas-alvo, de prováveis ocorrências dos bancos de sedimentos, descartando para isso as áreas de ocorrência de granulometrias extremas: as maiores (frações cascalho e areia muito grossa) e também aquelas menores (fração areia muito fina e areia fina), as quais fogem ao propósito deste trabalho.

Basicamente, todo o sedimento de granulação grossa de que se dispõe hoje para engordamento das praias modernas é de origem reliquiar, egresso e antigas linhas de praia, visto que os sedimentos que chegam às praias através dos rios da costa, em sua maioria, são de granulometria fina a média.

Aparentemente a distribuição das concentrações de carbonato de cálcio é influenciada pelo aumento da profundidade na subárea A, disposta em parte da plataforma continental adjacente ao Cabo de Santo Agostinho, apresentando maior concentração de bioclásticos nas áreas mais profundas e uma maior ocorrência de litoclásticos nas áreas mais rasas, onde formam bancos em alguns pontos.

Observa-se o predomínio de areias siliciclásticas (76,8%) recobrimdo a sedimentação da subárea A pesquisada, o que atesta quantitativamente a aptidão para exploração.

Na subárea B, posicionada a sudeste do Porto de Suape, a composição sedimentar dominante é carbonática, rica em bioclásticos e biolitolásticos representando juntos um teor de  $\text{CaCO}_3$  de 66,8%. Ao contrário do que é observado na subárea A, a distribuição sedimentar carbonática desta área não parece estar associada à profundidade, constatando-se que nela há preponderância indiscriminada dos carbonatos, com ocorrências em diferentes profundidades.

A sedimentação analisada para a subárea B atesta inaptidão para exploração destinada à recomposição de praias degradadas, dado que o carbonato é o material predominante, e por apresentar densidade baixa, o torna impróprio para a aplicação em questão. Naturalmente, o carbonato desta área é passível de exploração para outros fins, como insumo para a fabricação de cosméticos, fertilizantes e outros produtos.

A partir das análises de imagens de sensoriamento remoto cogita-se, baseada na observação de plumas sedimentares existentes na desembocadura dos principais rios da região, a possível origem da acumulação de sedimentos nas duas áreas investigadas. Para a área X, a contribuição sedimentar terrígena do continente atual é baixa e provavelmente advém do estuário do Rio Jaboatão, situado a norte da área X de estudo, corroborando estudos pretéritos de outros autores. Para a área Y, a contribuição continental para a plataforma interna ocorre principalmente a partir dos Rios Merepe e Ipojuca, embora a pluma de sedimentos destes rios mostre-se bem menos expressiva nas imagens analisadas.

A avaliação dos sonogramas realizada na área selecionada para estudo, localizada nas adjacências da Praia de Pedra do Xaréu apontou como predominantes a ocorrência de sedimentação inconsolidada, aliada à presença de substratos consolidados dispersos ao longo da área.

Os substratos consolidados são facilmente distinguíveis do substrato sedimentar inconsolidado. Uns dos mais expressivos e diferenciados são representados a sudoeste, próximo à praia de Pedra do Xaréu, ocorrendo também outro semelhante isolado no centro-sul da área estudada pela Sonografia. Caracterizam ocorrências de rochas vulcânicas identificadas também como picos batimétricos, por vezes recobertos por recifes coralígenos. Os topos geralmente submersos chegam a ser expostos em períodos de marés de sizígia, podendo claramente ser constatados nas imagens de Sensoriamento Remoto.

Outros substratos consolidados são revelados nos sonogramas por padrões texturais característicos, destacando-se concentrações de recifes e sedimentos consolidados, ocupando porções a S, SSW, WSW e E do mosaico de sonogramas obtido. São ainda encontrados a NE, isolados e em quantidades menores, distribuídos principalmente em forma de corpos

abaulados e/ou tabulares. A presença destas feições pode indicar áreas a serem evitadas durante a busca de jazida para engorda de praias.

Da integração parcial dos dados, conclui-se que das duas áreas estudadas, apenas a subárea A apresenta potencial para servir de jazida sedimentar marinha passível de ser explorada, atendendo às especificações granulométricas (sedimentos com qualidade composicional adequada e quantidades necessárias) de forma a atingir o objetivo desta pesquisa, vislumbrando ainda questões de natureza ambiental e econômica favoráveis, considerando assim os impactos negativos decorrentes da exploração. A subárea B estudada não se encaixa na proposta de trabalho, devido a apresentar qualitativo sedimentar inadequado e quantitativo insuficiente à exploração.

Os cálculos volumétricos foram realizados, mensurando um depósito com uma espessura média de 2,086 m disponível para exploração, tendo um volume de 2.713.497 m<sup>3</sup> de areia com um percentual entre 70% a 90% de material siliciclástico, disponível para aproveitamento em recuperação de praias vizinhas do Cabo de Santo Agostinho.

## REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M., LIMA FILHO, M. F., & FERREIRA, M. G. V. X., 1989. *Formação Cabo em Recife - PE: Limite setentrional da Bacia SE / AL.*, Bol. Núcleo Fortaleza / Nordeste. *Soc. Bras. Geol.*, 11. Atlas do Simpósio de Geologia do Nordeste, 13: 150-152.

ALMEIDA, C. B., CRUZ, L. B., JARDIM DE SÁ, P. M. P., MEDEIROS, W. E., 2005a. *Estilo da tectônica distensional do estágio rifte na Sub-bacia de Pernambuco. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET, 10. Curitiba, Boletim de Resumos expandidos, p67-69.*

ALMEIDA, C. B., CRUZ, L. B., JARDIM DE SÁ, E. F., VASCONCELOS, P. M. P., MEDEIROS, W. E., 2005b. *Tectônica e relações estratigráficas na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: contribuição ao conhecimento do Rifte Sul-Atlântico. Boletim de Geociências da Petrobrás, (13)2: p167-180.*

ARAÚJO, T. C. M., SEOANE, J. C. S. & COUTINHO, P. N., 2004 - Geomorfologia da plataforma continental de Pernambuco. *In: Eskinazi-Leça, E., Neumann- Leitão, S. & Costa, M. F. (eds), Oceanografia: um Cenário Tropical, pp. 39-57, ed. Bagaço, Recife, Brasil.*

ASMUS, H. E. & CARVALHO, J. C., 1978. Condicionamento tectônico da sedimentação nas bacias marginais do Nordeste do Brasil (Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba). *PROJETOREMAC – Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES. 4:1-24*

ASSIS, H. M. B., 2007. *Influência da hidrodinâmica das ondas no zoneamento litorâneo e na faixa costeira emersa, entre Olinda e Porto de Galinhas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Recife. 131p.*

ASSUNÇÃO, P. R. S., NESI, J. R. BEZERRA, M. S., SOUZA JÚNIOR, L. C., 2012. *Insumos Minerais para a Construção Civil na Região Metropolitana de Recife- PE. Recife: CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Série Rochas e Minerais Industriais, nº 9. 144p.*



AYRES NETO, A. & AGUIAR, A. C. K. V., 1993 - *Interpretação de reflexões de Side Scan Sonar: uma proposta de nomenclatura e padronização de métodos*. Anais do Congresso Internacional de Geofísica RJ.1: 399-403

AYRES NETO, A., 2001. *Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da Sonografia na exploração Mineral submarina*. Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3).

AYRES, A. & AGUIAR, A. C. K. V., 1993. *Interpretação de reflexões de Side Scan Sonar: Uma proposta de nomenclatura e padronização de métodos*. 3rd International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Brazil.

BARBOSA, É. N., 2012. *Mapeamento hidroacústico (sonar de varredura lateral) da plataforma continental interna adjacente a Macau-RN*. UFRN. Monografia de Graduação.

BARROS, L. C., VALENÇA, L. M. M., MANSO, V. A. V., MADRUGA FILHO, J. D. & OLIVEIRA, J. A. R., 2007. *Textura, composição e arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de Santa Cruz e do rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco*. Estudos Geológicos, Série B, Estudos e Pesquisas (UFPE), Vol. 17(1), p. 58-70.

BARROS, L. C., VALENÇA, L. M. M., MANSO, V. A. V. ; MADRUGA FILHO, J. D. & OLIVEIRA, J. A. R., 2008. *Estudos sedimentológicos na Plataforma Continental interna adjacente às desembocaduras sul do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco*. Revista de Geologia (Fortaleza), Vol. 21, p. 123-134.

BELLIA, V., ORCIOLI, P. R. A. e MARANHÃO, E., 1974. *Estudos Geológicos e Geofísicos na Baía de Suape, Pernambuco - Brasil*. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia-Porto Alegre, RS. Vol. 7, p 57-62.

BEURLLEN, K. 1962. *O desenvolvimento paleogeográfico do Oceano Atlântico Sul*. Arquivos de Geologia. Escola de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. (2): p.21-36.

BIZZI, L. A. (Ed.); SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Brasília: CPRM, 2003, 674 p.

BNDO / FEMAR (Banco Nacional de Dados Oceanográficos / Fundação de Estudos do Mar). Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Disponível em: <http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html#pernambuco>, acesso em 01/07/2013.

BRAGA, F. P. S., 2007. *Morfologia e sedimentologia da Praia de Macromaré de Ajuruteua, Pará: um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo*. Dissertação - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará, Belém. 116 p.

CAMARGO, J. M. R. 2005. *Mapeamento Sonográfico da Plataforma Continental Adjacente ao Município de Tamandaré, Pernambuco, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, CTG. Recife, 91p.

CAMARGO, J. M. R.; ARAÚJO, T. C. M.; MAIDA, M.; USHIZIMA, T. M. 2007. Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, 25(Supl. 1): 79-89.

CB&I – Chicago Bridge & Iron Company, 2013 a. *Relatório técnico Preliminar das Atividades de Campo*. Preparado para a SEMAS – Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Governo do Estado de Pernambuco, Brasil. Recife, 68p.

CB&I – Chicago Bridge & Iron Company, 2013b. *Projeto de execução de dragagem e disposição de sedimentos arenosos – Memorial Descritivo*. Preparado para a SEMAS – Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Governo do Estado de Pernambuco, Brasil. Recife, 222p.

COUTINHO, P. N. 1976. *Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe*. (Tese de Livre Docência). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

COUTINHO, P. N., 1995. *Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil*. Programa Revizee. Recife: IBAMA / SECIRM.

CPRH, 2012. *Relatório de impacto ambiental-RIMA: Recuperação da Orla Marítima – Municípios de Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda e Paulista (Pernambuco)*. Instituto de Tecnologia de Pernambuco. – Recife. 98p. (Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br/Publicacoes/Rimas/2012/41788%3B71384%3B490204%3B0%3B0.asp>), acessado em Maio/2012.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 2004. *Tábua das Marés para o Porto de Suape (Estado de Pernambuco)*. Disponível em <http://www.dhn.mar.mil.br>, acessado em 28/01/2013.

DIAS, J. M. A. (1987) - *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Universidade de Lisboa. Lisboa – Portugal. Dissertação de Doutorado. 384p.

DIAS, G, T. M., 2001. Granulados bioclásticos – Algas calcárias. Rev. Bras. Geof. vol.18 n°3 São Paulo.

DIAS, J. A. 2004. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. Universidade do Algarve, UALg, 84p. E-book disponível em [http://w3.ualg.pt/~jdijs/JAD/eb\\_Sediment.html](http://w3.ualg.pt/~jdijs/JAD/eb_Sediment.html), acessado em 28/01/2013.

DIAS BRITO, D. 1985a. Calcisphaerulidae do Albiano da Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil. Investigações taxonômicas: biocronoestratigráficas e paleoambientais. In: Brasil, MME, DNPM. Col. Trab. Paleont. Brasília. Geologia 27, Paleontologia e Estratigrafia 2: 295-306.

DIAS BRITO, D. 1985b. Calcisphaerulidae e microfósseis associados da Formação Ponta do Mel da Bacia Potiguar, Brasil: considerações paleoecológicas e biocronoestratigráficas. In: Brasil, MME, DNPM. Col. Trab. Paleont. Brasília. Geologia 27, Paleontologia e Estratigrafia 2: 307- 314.

DIAS BRITO, D. 1987. A Bacia de Campos no Mesocretáceo: uma contribuição à paleoceanografia do Atlântico Sul primitivo. Rev. Bras. Geoc. 17(2): 162-167.

DIAS BRITO, D. 1995. Calcíferas e microfácies em rochas carbonáticas pelágicas mesocretáceas. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 688 p.

DIAS BRITO, D. 2000. *Global stratigraphy, paleobiogeography and palaeoecology of Albian-Maastrichtian pithonellid calcispheres: impact on Tethys configuration*. Cretaceous Research, 21: 315-349.

DONDURUR, D. and ÇIFÇI, G., 2007. *Acoustic structure and recent sediment transport processes on the continental slope of Yesilirmak River fan, Eastern Black Sea*. Marine Geology 237 (2007) p. 37-53.

EMERY, K.O., 1952. *Continental Shelf sediments of Southern California*, Geol. Soc. Amer. Bull., Boulder, Colo., 63: 1105 – 1108.

FEIJÓ, F. J. 1994. *Bacias de Pernambuco - Paraíba*. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1.

FERREIRA JUNIOR, A. V. ; ROLNIC. M. ; PONTES, P. M ; ARAUJO, T. C. M., 2007. *Mapeamento batimétrico da plataforma continental da foz do rio Beberibe-PE*. In: XI Congresso da ABEQUA, Belém. Os estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental.

FRANÇOLIN, J. B. L.; SZATMARI, P. 1987. *Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira*. Revista Brasileira de Geociências. 17(2): p.196-207.

FIGUEIREDO, T. S. 2008. *Mapeamento Batimétrico e Sonográfico da Plataforma Continental Interna Adjacente ao Complexo Industrial e Portuário de Suape, Pernambuco, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, CTG. Recife, 91p.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957. *Brazos rives bar: A study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, 27:3-27.

FRANÇA, A. M. C. 1976. *Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira*. Rev. Bras. Geociências, 6 (2): 71–88.

FRAZÃO, E. P., 2003. *Modelamento hidrodinâmico e caracterização morfo-sedimentar do Estuário Potengi e áreas adjacentes; implicações na migração de derrames de hidrocarboneto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, 145p.

GARRISON, T. 2010. *Fundamentos de Oceanografia*. Cengage Learning, São Paulo. 426p.

GUERRA, N. C. & MANSO, V. A. V. 2004. *Beachrocks (Recifes de Arenito)*. In: ESKINAZI-LEÇA, E; NEUMANN-LEITÃO, S. & COSTA, M. F. (Orgs.). *Oceanografia: Um Cenário Tropical*. Recife: Ed. Bagaço, p. 109–130.

HAYES, M. O. *Barriers island morphology as a function of tidal and wave regime*. In: LEATEHERMAN, S.P. (Ed). *Barrier Island from the Gulf of Mexico*. New York: Academic Press, 1979.

HEAD, M.E. (2004) *Use of High-resolution side scan sonar data to quantitatively map and monitor a mid-continental shelf hardbottom: 23-Mile Site, Onslow Bay, NC*. Thesis submitted to the University of North Carolina at Wilmington. Master degree. 87 p.

HOPLEY, D. 1986. *Beach-rocks as sea-level indicator*. In: VAN DER PLASSCHE, O. (Ed.). *Sea-level research: a manual for the collection and evaluation data*. GeoBooks, Norwich U.K., 157–173.

JESUS, L. V.; ANDRADE, A. C. S. 2003. *Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas - Aracaju-SE*. In: *Revista Scientia Plena*, Sergipe. Vol. 9, Num. 5. Disponível em: <http://www.scientiaplenu.org.br/index.php/sp/article/view/1289/729>. Acessado em 21/01/2014.

KAMPEL, M. 2002. *Sensoriamento remoto aplicado à oceanografia. Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente*. São José dos Campos: INPE, p. 20. Cap. 6.

KENNETT, J. 1982. In: BATISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Org.), 2004. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência. 281 p.

LABOREL, J. 1969. *Les Peuplements de Madréporaires des Côtes Tropicales du Brésil*. Univ. d'Abidjan, Série E, II Fasc. 3, 260 pp.

LAGESE, 2003. *Relatório do Projeto Bacia Pernambuco Paraíba. Relatório interno*. UFPE/DGEO/LAGESE.

LARSONNEUR C. 1977. *La cartografia des dépôt meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche*. J. Rech. Oceanogr. 2: 34–39.

LIMA FILHO, M. F., 1998. *Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco*. Tese de Doutorado. IG/USP, São Paulo. 139p.

LIMA FILHO, M. F., BARBOSA, J. A., NEUMANN, V. H., SOUZA, E. M., 2005. *Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba*. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos - SNET 5, Curitiba. *Boletim de Resumos Expandidos*, 45-47.

LOPES, R. M. 2009. *Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 439p.

LORING, D. H.; RANTALA, R. T. T. 1992. *Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter*. Earth-Science Reviews, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam: 32, p. 235-283.

LUIZ, J. G., SILVA, L. M. C. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Belém: Universidade Federal do Pará; Cejup.

MABESOONE, J. M., ALHEIROS, M. M., 1991. Base Estrutural - Faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. In: Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. J. M. Mabesoone (Coord.). *Estudos Geológicos, Série B*, 10:33-43.

MABESOONE, J. M.; SILVA, A. C. 7 BEURLLEN, K. 1972. *Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte*. São Paulo, *Rev. Bras. Geociências*. V.2, n. 3, p173-188.

MADRUGA FILHO, J. D., 1999. *Estudos Sedimentológicos, Morfodinâmicos e Hidrodinâmicos na Praia do Paiva, Município do Cabo de Santo Agostinho – PE*. Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 148 p.

MADRUGA FILHO, J. D. 2004. *Aspectos Geoambientais entre as praias do Paiva e Gaibu, Município do Cabo de Santo Agostinho (Litoral Sul de Pernambuco)*. 252 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MANSO, V. A. V. , 1995. *Estudo da Erosão Marinha na Praia da Boa Viagem*. Convênio EMLURB/FADE/LGGM/UFPE: Relatório técnico. Recife. 106p.

MANSO, V. A. V., 2003. *Definição dos pontos de contorno da linha de preamar máxima atual do litoral do Município de Ipojuca –PE*. Relatório Final. RECIFE. CPRH TERMO DE REFERÊNCIA MMA/PNMA II - SECTMA Nº 249. (Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/pnma2/relatorio-final.pdf>)

MANSO V. A. V., CORRÊA I. C. S. & GUERRA, N. C. 2003. Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos – Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Rev. Pesq. Geociências*. Porto Alegre (RS), v. 30, n. 2, p. 17-25.

MANSO, V. A. V., COUTINHO, P. N., GUERRA, N. C. & SOARES, C. F. A., 2006. Pernambuco. *In: Muehe, D. (ed), Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*, pp. 179- 196, Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

MARANHÃO, R. J. L., 1982. *Introdução à Pesquisa Mineral*. Fortaleza, BNB. ETENE. 680 p.

MARTINS, L. R. Recent Sediments and Grain size analysis: *Revista Gravel*, Porto Alegre, 2003. (1): 90-105.

MICHELLI, M; MAIDA M.; VITAL H., 2001. Indicatives of ancient conditions of sea level stability on the southern Pernambuco continental shelf. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, Porto Alegre-RS, v. 28, n.2, p. 25-33.

MICHELLI, M. 2002. *Mapeamento sonográfico de parte da plataforma continental sul de Pernambuco-Brasil*.(Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MUEHE, D. (2006) - *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*. Brasília, MMA, 2006. <http://www.mma.br>. Brasília, Brasil. (Acedido em Jan07).

NASCIMENTO, M. A. L. 2004. *Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas Cretácicas da província magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, PPGUFRN, Tese de Doutorado, 235 p.

NEVES, S. P; MARIANO, G.; CORREIA, P.B; SILVA, J. M. R. 2006. *70 m.y. of synorogenic plutonism in eastern Borborema Province (NE BRAZIL): temporal and kinematic constraints on the Brasiliano Orogeny*.

NICHOLS, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2ª ed. – UK: Jonh Wiley & Sons Ltd. 419p.

PREMOLI SILVA, I. & BOERSMA, A. 1977. *Cretaceous planktonic foraminifers – DSDP Leg 39 (South Atlantic)*. In: Perch-Nielsen, K. & Supko, P., Init. Repts. DSDP, Washington (U.S. Govt. Printing Office), 40:1025-1061.

PAOLO F. S. & MAHIQUES M. M., 2008. *Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia*. Revista Brasileira de Geofísica, 26(2): 211–225.

QUARESMA, V. S., DIAS, G. T. M. & BAPTISTA NETO, J. A. 2000. *Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara - RJ*. Revista Brasileira de Geofísica, 18(2): 201-214.

RAND, H. M. 1967 - *Estudos geofísicos na faixa sedimentar costeira Recife - João Pessoa*. Bol. Soc. Bras. Geol. 16(1) 87-99.

RAND, H. M. 1976. *Estudos geofísicos na faixa litorânea ao Sul de Recife*. Tese de Livre Docência. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 112 p.

RAND, H. M. 1978. *Análise gravimétrica e magnetométrica da estrutura superficial da faixa costeira do Nordeste brasileiro*. In: XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Recife - PE. *Anais*, vol.5: p.2336- 2346.

RAND, H. M. 1985. *Ligação “landbridge” (ponte intercontinental) entre Pernambuco-Paraíba e Nigéria-Camarões*. In: Fanerozóico Nordestino. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Geologia. Textos Didáticos. Série D. v.1. p. 44.

RAND, H. M. & MABESOONE, J. M. 1982. *Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa*. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 38: 163-183.

RAND, H. M. 1986. *Anomalias gravimétricas em redor do Recife*. In: Estudos e Pesquisas, UFPE/ DEMI, 8: 79-85.



SCHEIBNEROVÁ, V. 1981. *Paleogeographical implication of Cretaceous benthic foraminifers recovered by the DSDP in the western South Atlantic Ocean*. Cretaceous Research., 2:1-18.

SHEPARD, F.P., 1932 - *Sediments of the Continental Shelves*. Geological Society of America Bulletin, 43:1017-1040.

SHEPARD, F. P., 1954. *Nomenclature base don sand-silt-clay rations*. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, v. 24, p. 151-158.

SILVA, C. G.; FIGUEIREDO JUNIOR, A. G.; BREHME, I. 2000. *Granulados litoclásticos*. Revista Brasileira de Geofísica, vol.18, nº.3, p.319-326.

SILVA, E. P. 2008. *Interpretação sísmica e modelamento magnetométrico e gravimétrico 2D e 3D de corpos vulcânicos localizados na Sub-Bacia do Platô de Pernambuco - uma contribuição à sua evolução tectono-estratigráfica*. Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 235 p.

SOUZA, R. B., 2003. *Sensoriamento remoto dos oceanos*. Espaço & Geografia, Vol.6, No 1, 123:145.

SOUZA, S. T.; GREGÓRIO, M. N.; SILVA, M. A.; ASSIS, H. M. B.; ARAÚJO, T. C. M. 2003. *Contribuição ao Entendimento Morfológico da Plataforma Continental Interna da Região Metropolitana do Recife (PE), Brasil*. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas, II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa, Recife.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S. & OLIVEIRA P. E. (Orgs.), 2005. *Quaternário do Brasil*. 1 ed. Ribeirão Preto: Holos Editora Ltda., 378 p.

SOUZA L. A. P., 2006. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*. Tese, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, IO, USP, São Paulo. 311 p.

SOUZA, J. A. G. 2007. *Caracterização morfosedimentar da Plataforma Continental Interna da enseada do Pântano do Sul, Ilha de Santa Catarina, SC*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geociências. UFRGS, Porto Alegre. 101p.

SUAPE (Complexo Industrial Portuário), 2012. *Porto de SUAPE*. 03p. Acessado em 10/04/2014. Disponível em <http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/Portos/2012/Suape.pdf>.

SUGUIO, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. 1. ed. Edusp, São Paulo. 317p.

SUGUIO, K.; MEIS, M. R. M. & TESSLER, M. G. 1986. *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil*. Rio de Janeiro: CTCQ-SBG.

VIANA, M. S. S. 1998. *The Albian Proto-Atlantic way and its influence on the South American-African life*. 3th Annual Conference of the SAMC project 381 (IGCP-IUGS), Comodoro Rivadavia. Boletín de la Asociación Paleontológica del Golfo San Jorge, Ed. Esp. 2, 32-34.

VITAL, H.; ESTEVES, L. S.; ARAÚJO, T. C. M.; PATCHNEELAM, S., 2005. *Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira*. In: SOUZA C. R. G., SUGUIO K., OLIVEIRA A. M. S., OLIVEIRA, P. E. (Orgs.). *O Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005, v. 1, p. 153-175.

WENTWORTH, C. K., 1922. *A Scale of Grade and Class Terms for Classic Sediments*. Journal of Geology, Chicago, v. 30, n.5, p. 377-392.

## ANEXOS

ANEXO 1 – ESCALA DE UDDEN-WENTWORTH (WENTWORTH, 1922) UTILIZADA  
PARA CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS

Millimeters	$\mu\text{m}$	Phi ( $\phi$ )	Wentworth size class	
4096		-20		
1024		-12	Boulder (-8 to -12 $\phi$ )	
256		-10		
64		-8	Pebble (-6 to -8 $\phi$ )	
16		-6		
4		-4	Pebble (-2 to -6 $\phi$ )	
3.36		-2		
2.83		-1.75		
2.38		-1.50	Gravel	Gravel
2.00		-1.25		
1.68		-1.00		
1.41		-0.75		
1.19		-0.50	Very coarse sand	
1.00		-0.25		
0.84		-0.00		
0.71		0.25		
0.59		0.50	Coarse sand	
1/2		0.75		
0.42	500	1.00		
0.35	420	1.25		
0.30	350	1.50	Medium sand	Sand
1/4	300	1.75		
0.25	250	2.00		
0.210	210	2.25		
0.177	177	2.50	Fine sand	
0.149	149	2.75		
1/8	125	3.00		
0.105	105	3.25		
0.088	88	3.50	Very fine sand	
0.074	74	3.75		
1/16	63	4.00		
0.0530	53	4.25		
0.0440	44	4.50	Coarse silt	
0.0370	37	4.75		
1/32	31	5		
0.0156	15.6	6	Medium silt	
1/128	7.8	7	Fine silt	
1/256	3.9	8	Very fine silt	Mud
0.0020	2.0	9		
0.00098	0.98	10		
0.00049	0.49	11		
0.00024	0.24	12	Clay	
0.00012	0.12	13		
0.00006	0.06	14		

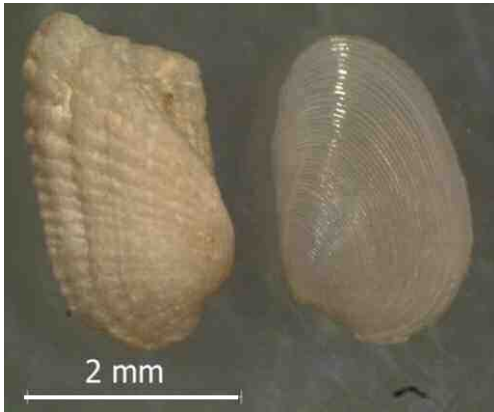
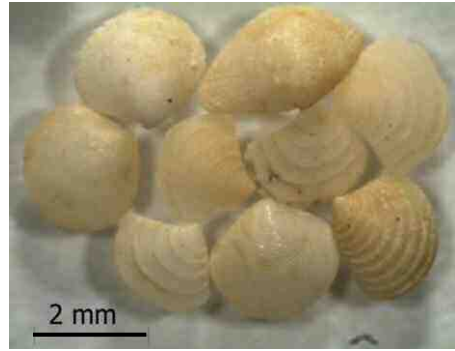
ANEXO 2 – BIOCLASTOS DAS ÁREAS X E Y ESTUDADAS

Prancha 1 – Foraminíferos



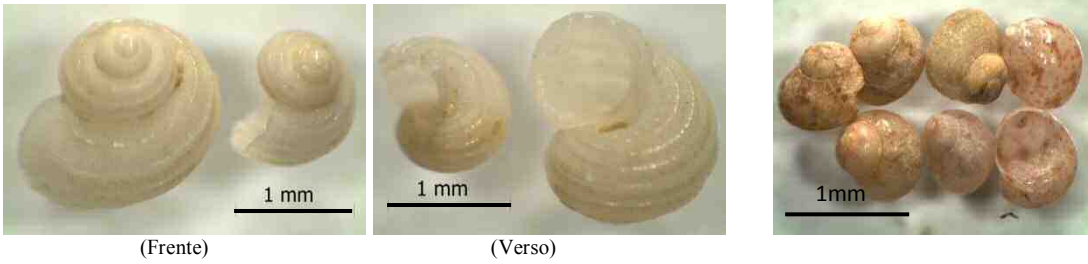
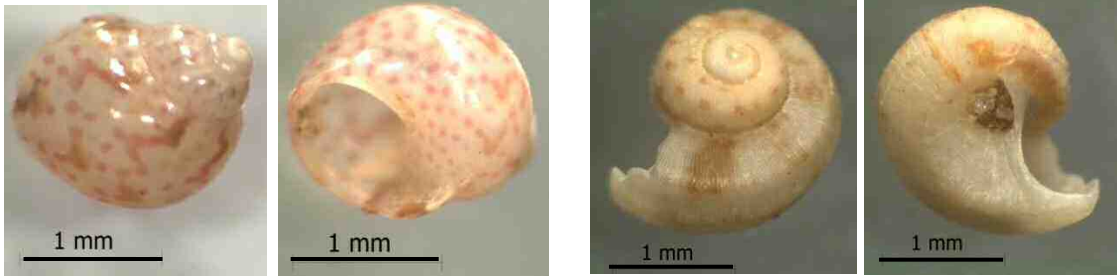
Prancha 2 – Conchas de Bivalves

Filo: *Mollusca*; Classe: *Bivalvia*



Prancha 3 – Conchas de Gastrópodes

Filo: *Mollusca*; Classe: *Gastropoda*

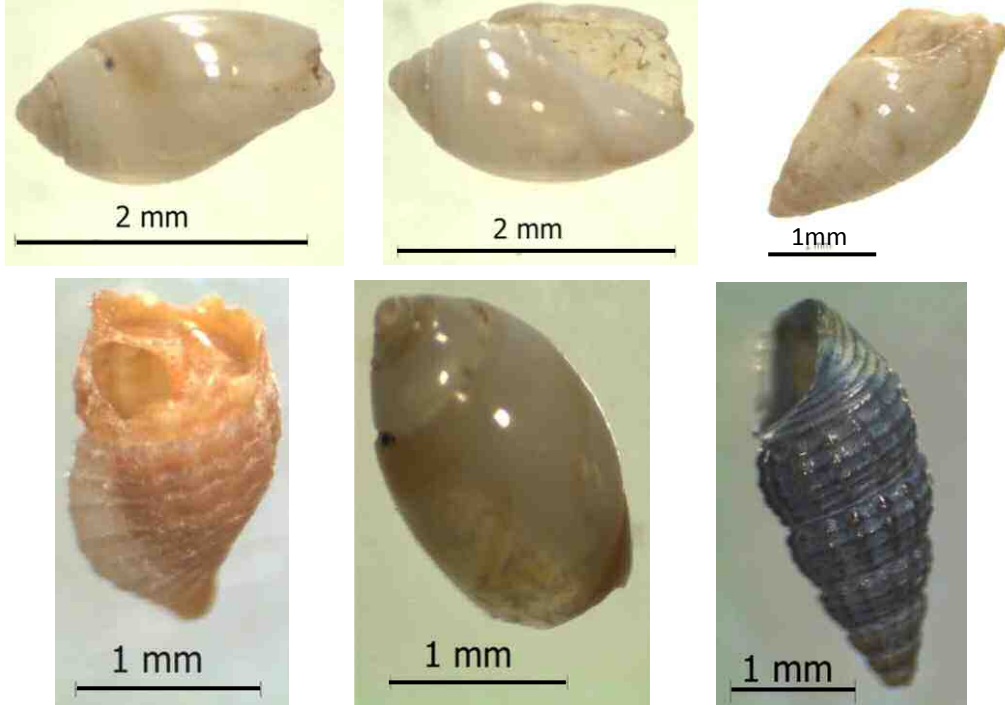


Conchas de *Gastropoda* espiralada (em formato de Cone):

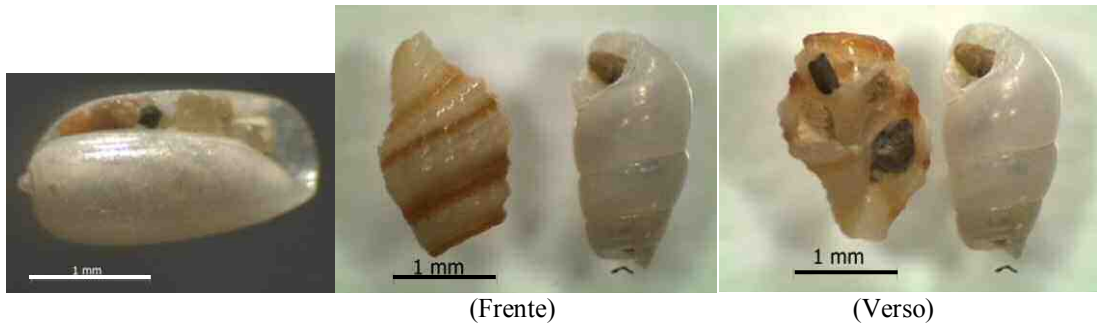


Prancha 4 – Conchas de Gastrópodes

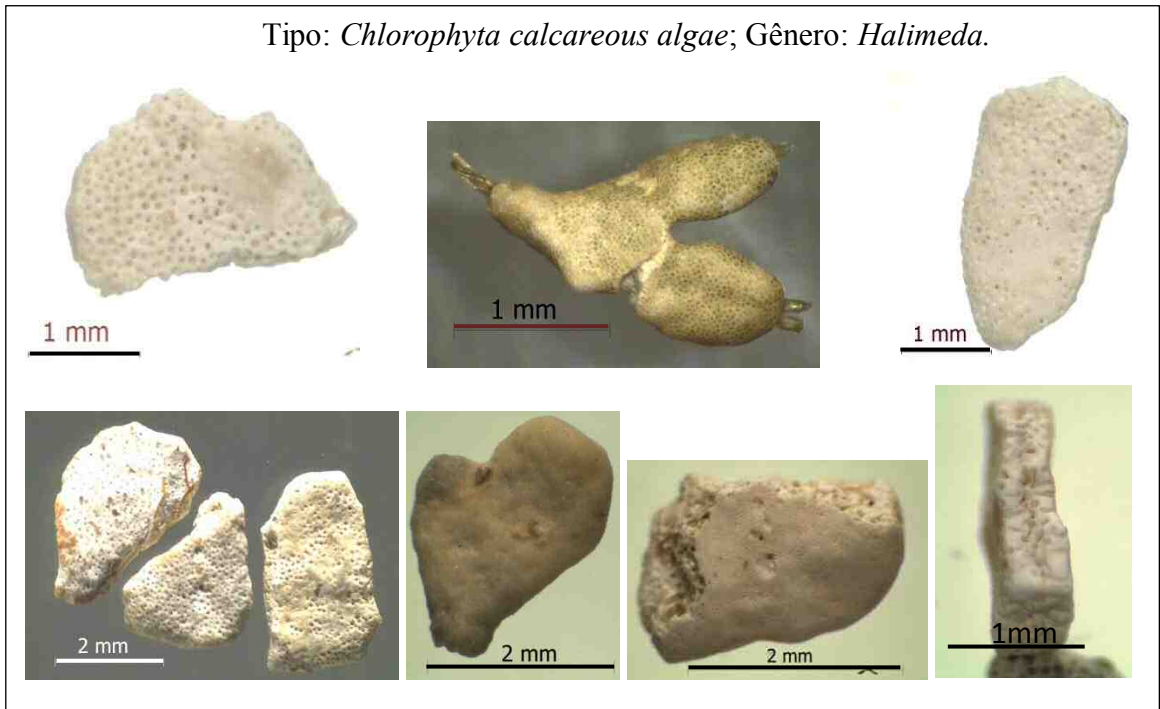
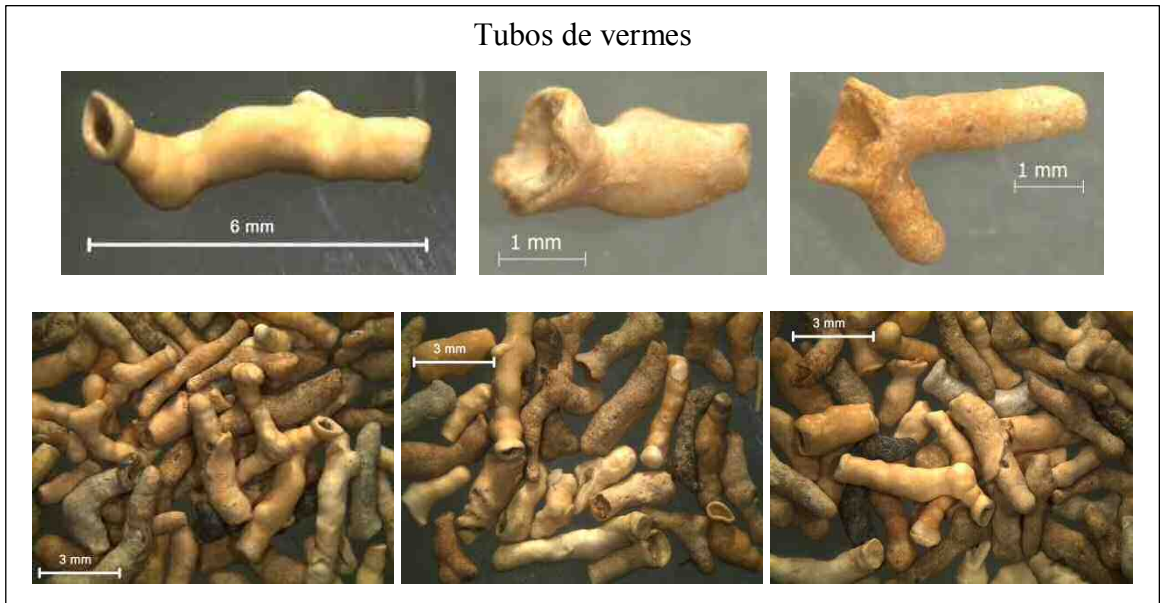
Filo: *Mollusca*; Classe: *Gastropoda*



Conchas ou fragmentos de *Gastropoda* preenchidos com grãos:

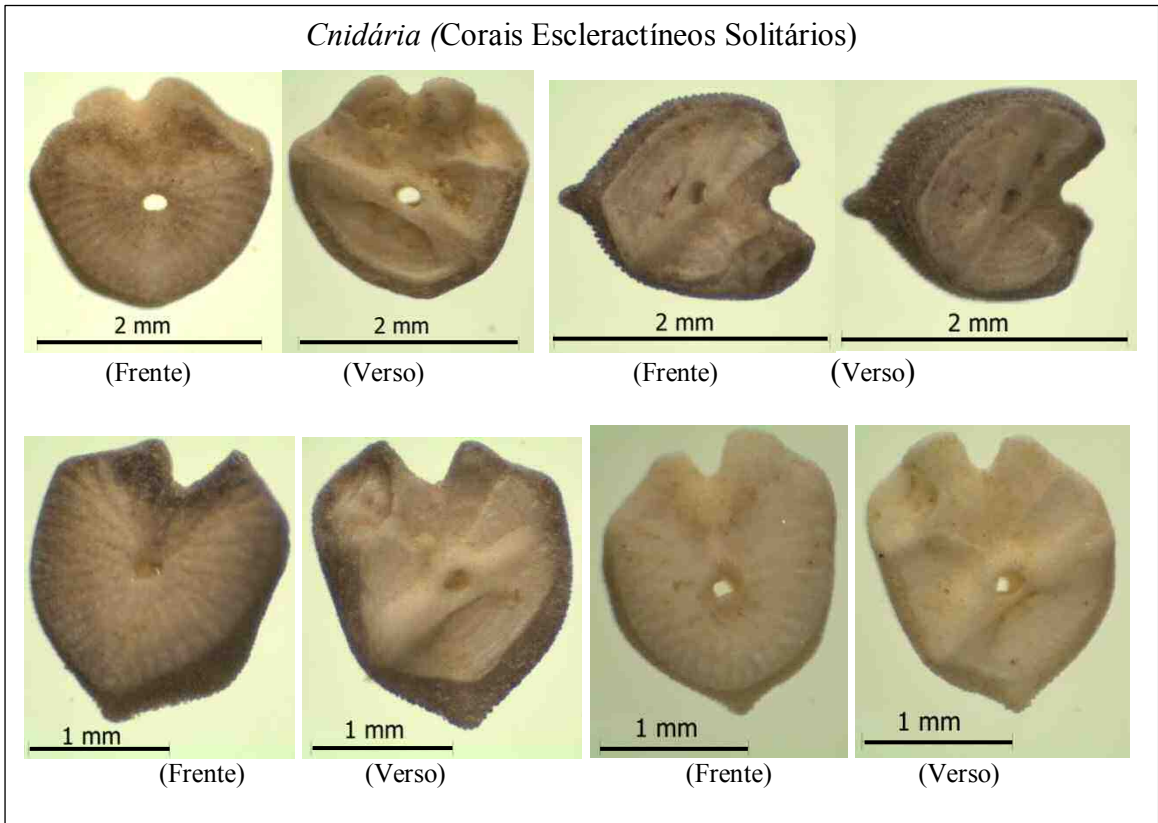
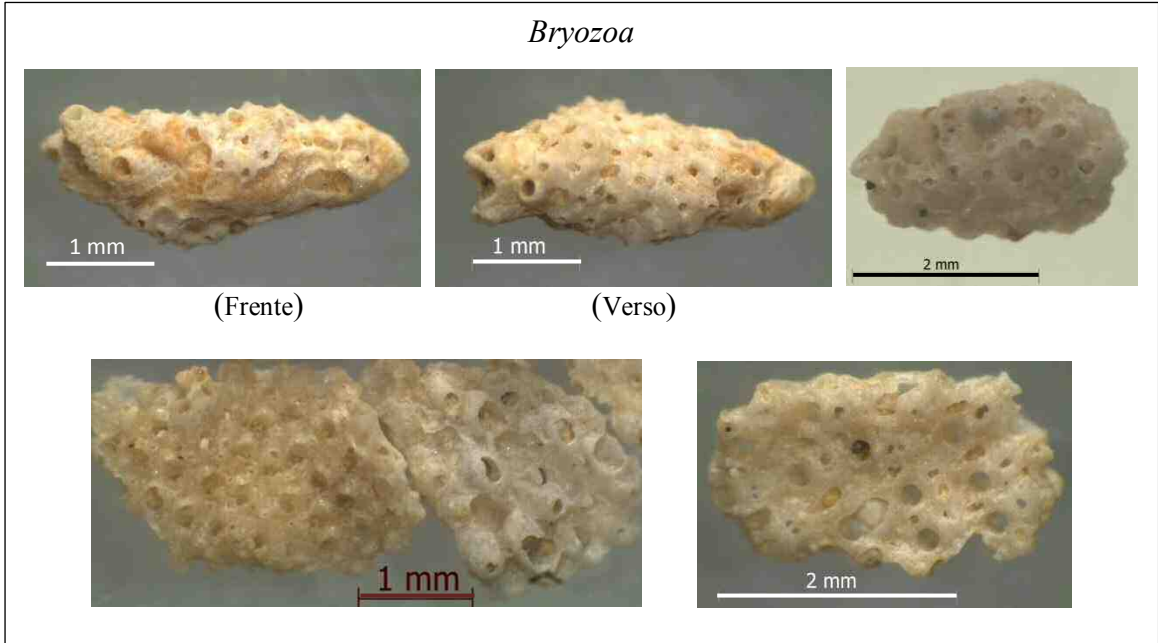


Prancha 5 – Tubos de Vermes e Algas Calcárias dos Tipos Clorofíceas (*Halimeda*) e Vermelhas Coralíneas (*Lithothamnium*)



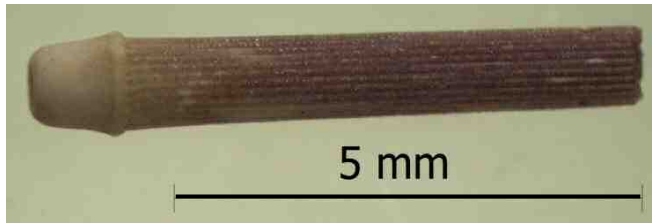


Prancha 6 – Bryozoa e Cnidária (corais)



Prancha 7 – Equinodermos, Placa de equinóides e Poríferos (Esponjas)

**Equinodermos:** Animais dotados de espinhos, em sua maioria, e pés ambulacrários.  
Reino: *Animalia*; Filo: *Echinodermata*; Classe: *Echinoidea*

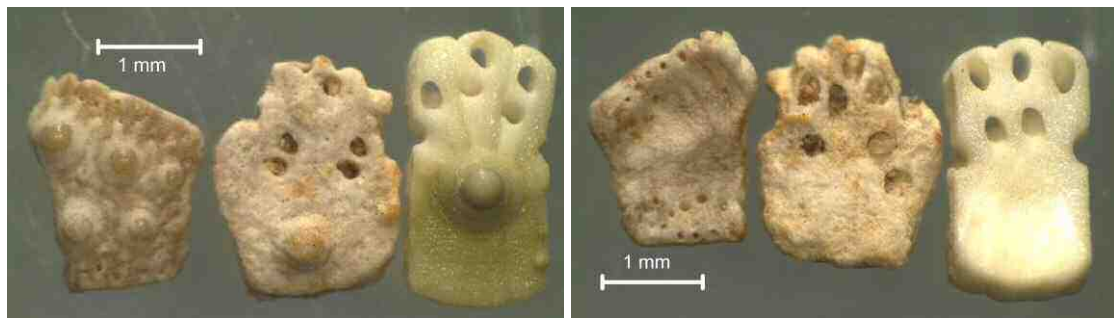


Echinoidea (Espinho de ouriço)



Fragmento de Echinoidea

**Placa de Equinóide:**



(Frente)

(Verso)

**Poríferos:** Animais extremamente simples, vivem fixos a um substrato e possuem estrutura esquelética formada por fibras, espículas ou ambos.

Domínio: *Eukaryota*; Reino: *Animalia*; Filo: *Porifera*



Porífero (esponja)