



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

TESE DE DOUTORADO

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL
SETENTRIONAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE,
REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA**

Tese nº 026/PPGG

Autor:

MICHAEL VANDESTEEEN SILVA SOUTO

Orientador:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (DG/PPGG-UFRN)

Natal – RN, 16 de outubro de 2009



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

TESE DE DOUTORADO

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL
SETENTRIONAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE,
REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA**

Autor:

MICHAEL VANDESTEEEN SILVA SOUTO

Tese de Doutorado apresentada em 16 de outubro de 2009, para obtenção do título de Doutor em Geodinâmica pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (Orientador)

Prof^a. Dr^a. Helenice Vital (PPGG/UFRN)

Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho (DHT/UFMS)

Prof^a. Dr^a. Ada Cristina Scudelari (LARHISSA/UFRN)

Prof. Dr. Luciano Henrique de Oliveira Caldas (UNRNCE/PETROBRAS)

Natal – RN, 16 de outubro de 2009



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

TESE DE DOUTORADO

Tese desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGG/UFRN), tendo sido subsidiada pelos seguintes agentes financiadores:

- Agência Nacional do Petróleo – ANP/PRH-22;
- Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor Petróleo e Gás Natural – PRH-ANP/MME/MCT;
- REDE 05 – PETROMAR (CTPETRO-FINEP/PETROBRÁS/CNPq): Monitoramento Geo-ambiental de Áreas Costeiras na Zona Petrolífera de Macau, inserida no Estado do Rio Grande do Norte (RN);
- PETRORISCO (FNDCT/CTPETRO-FINEP/CNPq): Monitoramento Ambiental das Áreas de Risco a Derrames de Petróleo e Derivados;
- HIDROSEMA: Monitoramento das Mudanças Ambientais e da Influência das Forçantes Hidrodinâmicas na Morfodinâmica Praial no Campo Serra-Macau na Bacia Potiguar;
- POTMAR (FNDCT/CTPETRO-FINEP/CNPq): Caracterização Geológico-Geomorfológica e Monitoramento da Dinâmica Costeira da Plataforma Continental da Bacia Potiguar.



Dedico esta conquista aos meus avós maternos, seu Pedro e dona Maria, a que tenho grande admiração, amor e respeito.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro, que me possibilitou adquirir seus valiosos conhecimentos, pela sua amizade e atenção, pela confiança que você depositou em mim, tudo isso contribuiu para o êxito deste trabalho e, principalmente, por nos incentivar a buscar o melhor de nós.

À Profa. Dra. Helenice Vital, pelos ensinamentos e incentivo durante a elaboração deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pela aceitação no referido Curso, e por darem a oportunidade, subsídio, e incentivo para a conclusão do curso de Doutorado, através de seus professores, funcionários e infraestrutura.

À Secretaria da PPGG, Nilda, pela sua eficiência, dedicação e carinho, com os quais tem merecido o título de “anjo da guarda” dos alunos.

À Agência Nacional do Petróleo/PRH-22, pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO), por disponibilizar a infraestrutura.

Aos colegas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e, em particular, aos do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica.

Aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento, pelas preciosas horas de trabalho e de descontração: Anderson, Angélica, Arnóbio, Caio, Dalton, Dário, Fátima, Flavo, Miriam, Raniere e Sormane.

Aos colegas do Laboratório GGEMMA, pelo apoio necessário para elaboração deste trabalho: Canindé e Júnior.

Aos meus familiares que são à base de sustentação da minha vida e me apoiaram em todos os momentos, principalmente nos momentos de dificuldade.

RESUMO

O litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte é caracterizado por fortes mudanças na sua morfologia costeira, ocasionadas por diversos fatores geológicos e climáticos. Nesta região estão instaladas as principais atividades socioeconômicas do Estado, destacando a Indústria Petrolífera, que exerce boa parte de suas atividades na zona costeira estudada. A erosão é o constante problema nesta região, pois afeta toda população local com a destruição de moradias e comércio, inviabilizando o turismo, comprometendo as atividades de subsistência e as atividades industriais. O risco maior está relacionado ao dano ambiental que pode ser causado pelo derramamento de óleo nesta região. Para entender o que condiciona estas modificações na morfologia costeira esta Tese de Doutorado se propôs em identificar os fatores de escala local, regional e até global que corroboram com a dinâmica costeira para este litoral em questão. Para tal estudo foram utilizados diversos produtos e diversas ferramentas para interpretação das condicionantes do efeito erosivo que predomina como um todo o litoral setentrional do Estado, na tentativa de quantificar e qualificar as causas e efeitos que afetam toda zona costeira monitorada. O desenvolvimento das atividades está inserido em projetos Rede 05 – PETROMAR (CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq), PETRORISCO, HIDROSEMA, PETROMAR e Rede 05/04 – POTMAR (FNDCT/CTPETRO-FINEP/CNPq), no âmbito das atividades de características multidisciplinares e interinstitucional em temas que envolvem o monitoramento ambiental e a atividade petrolífera.

ABSTRACT

The northern coast of Rio Grande do Norte State is characterized by strong changes in coastal morphology, caused by various geological and climatic factors. In this region are installed the main socio-economic activities of the State, highlighting the oil industry, which exerts much of its activities in the coastal area studied. Erosion is a constant problem in this region because it affects the entire local populace to the destruction of houses and trade, rendering tourism, affecting the livelihood activities and industrial activities. The greatest risk is related to environmental damage that can be caused by the oil spill in this region. To understand what determines the changes in coastal morphology this Doctoral Thesis is proposed to identify the factors at local, regional and even global corroborate coastal dynamics to this coast in question. For this study, used several different products and tools for interpreting the conditions of the erosive effect that dominates the whole northern coast of the State, in an attempt to quantify and describe the causes and effects that affect the entire coastal zone monitored. The development of activities is built into the projects Rede 05 – PETROMAR (CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq), PETRORISCO, HIDROSEMA, PETROMAR e Rede 05/04 – POTMAR (FNDCT/CTPETRO-FINEP/CNPq), in the activities of multidisciplinary and inter-features in issues involving environmental monitoring and oil activity.

SUMÁRIO

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Ilustrações	vii
Lista de Tabelas	xiii

CAPÍTULO I

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

I.1	INTRODUÇÃO	02
I.1.1	Apresentação	02
I.1.2	Introdução e Objetivos	03
I.1.3	Problemática e Justificativa	05
I.1.4	Localização e Vias de Acesso	06
I.2	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	08
I.2.1	Clima	08
I.2.2	Hidrografia	09
I.2.3	Hidrodinâmica Costeira.....	11
I.2.4	Contexto Geológico-Tectônico	14
I.3	ESTRATÉGIA METODOLÓGICA	19
I.3.1	Introdução	19
I.3.2	Levantamento da Linha de Costa	20
I.3.3	Modelamento Digital do Terreno	23

CAPÍTULO II

CENÁRIOS DO LITORAL DO RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE BRASILEIRO, COM A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR (Apresentado sob a forma de Artigo de Publicação)

CAPÍTULO III

EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL SETENTRIONAL DO ESTADO DO RN, ÁREA DE EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA DA BACIA POTIGUAR, COM BASE NA INTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS MULTITEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO

III.1	INTRODUÇÃO	45
III.2	MATERIAIS E MÉTODOS	47
III.3	ANÁLISES E INTERPRETAÇÕES	51
III.4	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	85

CAPÍTULO IV

ANÁLISE EVOLUTIVA EM 3D DAS ILHAS BARREIRAS DA REGIÃO DE MACAU/RN, NORDESTE BRASILEIRO, USANDO MODELOS DIGITAIS DE TERRENO MULTITEMPORAIS

IV.1	INTRODUÇÃO	96
IV.2	CONCEITUAÇÃO SOBRE MDT	97
IV.3	MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA	99
IV.4	RESULTADOS E ANÁLISE MULTITEMPORAL DAS ILHAS BARREIRAS OBTIDOS NA INTERSECÇÃO DOS MDTS	108
IV.5	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	111

CAPÍTULO V

DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO SISTEMA ILHA BARREIRA COM BASE NA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, GEOCRONOLÓGICO E SENSORIAMENTO REMOTO NO LITORAL SETENTRIONAL DO RN – BACIA POTIGUAR EMERSA

V.1	INTRODUÇÃO	114
V.2	CONTEXTO GEOTECTÔNICO	115
V.3	SISTEMAS DE ILHAS BARREIRAS	117
V.4	NÍVEL RELATIVO DO MAR	119

V.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICO	120
V.6	REAVALIAÇÃO DOS DADOS ESTRUTURAIIS	122
V.7	RECONSTRUÇÃO DA LINHA DE COSTA PARA OS ÚLTIMOS 3.900 ANOS	127

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

VI.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
VI.2	RECOMENDAÇÕES	136
	Referências Bibliográficas	139
	ANEXOS	153

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Mapa das microrregiões do estado do Rio Grande do Norte, em destaque para as microrregiões de Macau e Vale do Açu, onde está inserida a área de estudo (Fonte: IBGE, 2001)	07
Figura 1.2	Localização da área de estudo entre os municípios de Porto do Mangue e Galinhos, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.....	07
Figura 1.3	Mapas de isolinhas referentes à precipitação do mês de janeiro até do mês de dezembro para o ano de 2008 com a marcação das estações de verão (linha vermelha) e de inverno (linha azul). (Compilado de EMPARN, 2008).	08
Figura 1.4	Mapas de isolinhas referentes à média anual de temperatura (A), a temperatura mínima (B) e a temperatura máxima (C). (Compilado de EMPARN, 2008)	09
Figura 1.5	Imagem da série CBERS mostrando os principais rios existentes na área monitorada	10
Figura 1.6	Imagens da série Landsat mostrando a foz do rio Açu em dois momentos distintos mostrando a pluma de sedimento em suspensão: (A) antes da construção da barragem Eng. Armando Ribeiro com uma grande pluma de sedimento formada na foz do rio e (B) depois de finalizada a construção da barragem a pluma de sedimento é quase que inexistente. Em destaque em ambas as imagens o sedimento em suspensão	11
Figura 1.7	Mapa de velocidade dos ventos para todo Brasil (Fonte: Feitosa <i>et al.</i> , 2002).....	13
Figura 1.8	Destaque na ocorrência de campos de dunas eólicas na região, sendo caracterizada por dois tipos: (A) barcanóides e (B) parabólicas	13
Figura 1.9	Mapa geológico simplificado do estado do Rio Grande do Norte com localização da área de estudo	15
Figura 1.10	Coluna cronoestratigráfica, com os eventos de maior magnitude e registros litológicos (Fonte: Pessoa Neto, 2003) ...	16
Figura 1.11	Mapa da representação do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (Modificado: Bertani <i>et al.</i> , 1990; Araripe & Feijó, 1994)	17
Figura 1.12	Mapa da representação dos dois principais sistemas de falhas estruturais: Afonso Bezerra e Carnaubais (Fonte: Valentim da Silva, 2008)	18
Figura 1.13	Imagens Landsat 5 TM realçadas pelas técnicas de PDI que destacam a morfologia da plataforma continental da porção submersa da Bacia Potiguar (Compilado: Tabosa, 2002)	18
Figura 1.14	Fotografias mostrando o limite das áreas úmidas e secas vistas <i>in loco</i>	20

Figura 1.15	(A) Fotografia de baixo ângulo e (B) imagem CBERS. Em destaque os limites das áreas úmidas e secas	21
Figura 1.16	Vista de toda área com a linha de costa para o ano de 2003, mostrando a migração dos esporões arenosos para W, e o limite das três áreas críticas quanto aos processos erosionais atuantes na região (Compilado: Souto, 2004).....	21
Figura 1.17	Mapa da morfodinâmica costeira, mostrando as áreas erodidas e as áreas acrescidas para região da Ponta do Tubarão (compilado: Souto, 2004)	22
Figura 1.18	Equipamentos utilizados no levantamento dos dados topográficos com uso do GPS Geodésico do tipo L1L2 da Topcon (modelo Hiper Lite Plus)	23
Figura 1.19	Levantamento topográfico utilizando veículos	24
Figura 1.20	(A) Base principal sendo instalada na área. (B) Destaque a chapinha de reconhecimento	25
Figura 1.21	Ilustração com a localização das antenas do IBGE nos Estados do Brasil, que compõem o sistema RBMC (Fonte: IBGE, 2008)	25
Figura 1.22	Marcos menores em uso durante o levantamento topográfico com a antena base instalada para aquisição e transmissão dos dados (Base 6)	26
Figura 1.23	Mapa com a distribuição dos pontos coletados ao longo da área levantada com o uso do DGPS	27
Figura 1.24	Modelo TIN gerado, sendo utilizado para identificar as áreas com carência de informações altimétricas.....	27
Figura 1.25	Malha de pontos criados para complementar a informação do mar	28
Figura 3.1	Composições coloridas no sistema de cores RGB (Red-Green-Blue) R7-G4-B2 para as imagens Landsat (%-TM e 7-ETM+) e R3-G4-B2 para CBERS, com seus respectivos histogramas representados na cor azul.....	48
Figura 3.2	Fotografia em campo mostrando o limite (seco/úmido) utilizado como referência no levantamento da linha de costa extraída nas imagens orbitais	50
Figura 3.3	Mapa de localização das áreas críticas identificadas no levantamento das linhas de costa.....	52
Figura 3.4	Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1976 a 2007). Obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação e as linhas pretas representam a pista de dutos do Pólo Petrolífero de Guamaré	56
Figura 3.5	Gráfico mostrando o balanço sedimentar para década de 70 (1973 a 1981), para década de 80 e 90 (1981 a 2001) e para década de 2000 (2001 a 2007). E o balanço sedimentar para os 34 anos monitorados (1973 a 2007).....	54

Figura 3.6	Análise da modificação da linha de costa para década de 70 (1976 a 1981), para década de 80 e 90 (1981 a 2001) e para década de 2000 (2001 a 2007). Além da comparação de 31 anos obtidos de 1976 a 2007 para Praia de Minhoto, onde as áreas de erosão estão em vermelho e as áreas de acresção estão em verde.....	55
Figura 3.7	Análise da modificação da linha de costa para década de 70 (1973 a 1981), para década de 80 e 90 (1981 a 2001) e para década de 2000 (2001 a 2007). Além da comparação de 34 anos obtidos de 1973 a 2007 para Barra do Fernandez, onde as áreas de erosão estão em vermelho e as áreas de acresção estão em verde	59
Figura 3.8	Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007). Obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acresção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação	60
Figura 3.9	Fotografia de baixo ângulo mostrando a abertura do canal e o crescimento de uma nova barra arenosa (Barra Nova) em março de 2006. Foto: Ronaldo Diniz (IDEMA/RN)	62
Figura 3.10	Detalhe do Mapa de Divisão Física da América do Sul produzido em 1806 na Inglaterra. A seta em vermelho indica a existência sa ilha barreira da Ponta do Tubarão neste mapa. Fonte: David Rumsey Collection	63
Figura 3.11	Detalhe do Mapa da Área de Privilégio para região monitorada feito em 1889. Fonte: Patrimônio da União.....	64
Figura 3.12	Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007). Obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acresção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.....	65
Figura 3.13	Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costas de1973 a 2007 para ilha barreira da Ponta do Tubarão	66
Figura 3.14	Fotografia aéreas de 1988 mostrando a localização do antigo píer da PETROBRAS que interligava o continente com a ilha barreira	68
Figura 3.15	Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007). Obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acresção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.....	71
Figura 3.16	Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costas de1973 a 2007 para Praia Soledade	74
Figura 3.17	Fotografia de baixo ângulo do sobrevoo feito em março de 2006 registrando o início da abertura do canal. Foto Ronaldo Diniz (IDEMA/RN)	75

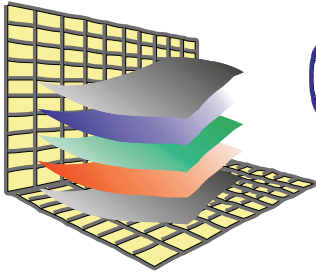
Figura 3.18	Fotografia do início da obra para instalação do poço avançado 7SER13DRNS da PETROBRAS em 2004	75
Figura 3.19	Fotografia de 2005, 2006 e 2007 partindo da mesma perspectiva de visão para mostrar as modificações ocorridas pela erosão promovida durante este período registrado	76
Figura 3.20	Fotografia de baixo ângulo da praia de Camapum no sobrevôo de 2007, com a vista da orla urbana e os gabiões que foram construídos perpendicularmente a faixa de praia.....	78
Figura 3.21	Fotografia mostrando o efeito erosivo em cima dos gabiões na praia de Camapum, não acumulando sedimento neste período ..	78
Figura 3.22	Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costas de 1973 a 2007 para Praia de Camapum	79
Figura 3.23	Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007). Obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.....	80
Figura 3.24	Fotografia de baixo ângulo tirada no sobrevôo de helicóptero (03/05/2007) mostrando a foz do rio das Conchas e a cidade de Porto do Mangue ao fundo.....	81
Figura 3.25	Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007). Obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.....	83
Figura 3.26	Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costas de 1973 a 2007 para Porto do Mangue	84
Figura 3.27	Representação da variação da temperatura das águas oceânicas para condição do El Niño e para condição La Niña.....	86
Figura 3.28	Representação gráfica da variação do efeito El Niño e La Niña durante o período monitorado de 1950 a 2007. A condição do El Niño é representado em vermelho e a condição de La Niña é representado em azul	87
Figura 3.29	Representação gráfica da Taxa de Erosão e da Taxa de Deposição para o intervalo de anos usados para monitorar a evolução da linha de costa de 1973 a 2007	88
Figura 3.30	Perfis executados pelo levantamento geofísico por meio do GPR ao fundo a imagem Landsat de 1989	92
Figura 4.1	Triangulação da rede de pontos da superfície real para geração de um modelo TIN.....	98
Figura 4.2	Representação do cálculo para as distâncias ponderadas para geração de dados raster	99
Figura 4.3	Equipamento GPS do tipo L1/L2 da marca Topcon	100
Figura 4.4	Demonstração do uso do GPS das antenas <i>base</i> e <i>rover</i>	100

Figura 4.5	(A) Instalação da antena base a partir do marco de 80 kg. (B) Detalhe da chapa metálica com a identificação do marco instalado.....	101
Figura 4.6	Mapa com a localização das estações da RBMC em todo o Brasil e os círculos em vermelho mostrando o raio de cobertura das estações utilizadas (Fonte: IBGE, 2009)	102
Figura 4.7	Localização de alguns marcos instalados nas ilhas barreiras, região de Macau/RN, e suas respectivas coordenadas	103
Figura 4.8	Antena base ao fundo sendo ligada e a antena rover instalada na moto, sendo configurada para o levantamento RTK	104
Figura 4.9	Limite da área úmida e seca utilizada para balizar o levantamento usando o GPS Geodésico	105
Figura 4.10	Mapa de pontos de coordenadas amostrados pelo levantamento GPS, tipo RTK. Os pontos mais externos correspondem ao perímetro do levantamento e internamente o levantamento em “zig-zag”.Mais as linhas de costa obtidas pelas imagens orbitais	106
Figura 4.11	MDT pelo método TIN com a ilustração da plataforma terrestre abandonada devido ao efeito erosivo que atingiu esta área no início do ano de 2006 e isolou a base para acesso por estrada	107
Figura 4.12	Modelamento <i>raster</i> , representando o terreno na forma mais suavizada	107
Figura 4.13	Cruzamento dos MDT de fevereiro e março de 2007, representando os volumes de ganho e perda da ilha barreira da Ponta do Tubarão	109
Figura 4.14	Linhas de costa obtidas por meio de imagens orbitais para os anos de 2004, 2005 e 2006, e a constante migração de Leste para Oeste	110
Figura 4.15	Cruzamento dos MDT de fevereiro e março de 2007, representando os volumes de ganho e perda da ilha barreira de Corta Cachorro	111
Figura 5.1	Mapa da representação dos dois principais sistemas de falhas estruturais: Afonso Bezerra e Carnaubais (Fonte: Valentim da Silva, 2008)	114
Figura 5.2	Mapa da representação do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar. (Modificado: Bertani <i>et al.</i> , 1990; Araripe & Feijó, 1994)	116
Figura 5.3	Imagens Landsat 5 TM realçadas pelas técnicas de PDI que destacam a morfologia da plataforma continental da porção submersa da Bacia Potiguar. Possível continuidade da falha de Carnaubais. (Compilado: Tabosa, 2002)	116
Figura 5.4	Gráfico de Hayes, que define o domínio da força de formação das ilhas barreiras. O ponto em vermelho configura a predominância na região. (Compilado: Hayes, 1979)	117

Figura 5.5	Desenho esquemático da configuração do terreno de acordo com a intensidade de energia de onda versus da maré. (Modificado: Hayes, 1979)	118
Figura 5.6	Área cinza representa a curva de nível do mar para costa potiguar, que se assemelha (A) a curva relativa do nível do mar para costa central brasileira de Bittencourt <i>et al.</i> (1979) e Suguio <i>et al.</i> (1985) e (B) a previsão glacio-isostática de Peltier (1998). (Compilado: Bezerra <i>et al.</i> , 2003)	119
Figura 5.7	Desenho esquemático do perfil interpretado por Silva (1991) e a localização dos poços utilizados para execução desse perfil geológico. (Compilado: Silva, 1991)	124
Figura 5.8	Desenho esquemático do possível contexto estrutural da região que compreende a ilha barreira da Ponta do Tubarão e da barra arenosa de Fernandez	124
Figura 5.9	Desenho esquemático da possível estruturação que controla a sedimentação na geração da nova “Barra Nova”, mostrando também o perfil esquemático desta estrutura	125
Figura 5.10	Perfis executados pelo levantamento geofísico por meio do GPR ao fundo a imagem Landsat de 1989.....	126
Figura 5.11	Perfil geofísico pelo equipamento GPR caracterizando uma estruturação similar a estrutura dominó com identificação das estruturas até uma profundidade de pouco mais de 5 m.....	127
Figura 5.12	Perfil esquemático sugerindo o empilhamento sedimentar nos últimos 120.000 anos, de acordo com o levantamento geocronológico e mapeamento das ilhas barreiras em superfície	129
Figura 5.13	Mapa da evolução da linha de costa, mostrando do pretérito (3.900 anos) até o presente, a partir do mapeamento usando imagens de satélite e datações geocronológicas, balizando no modelo de Suguio (2003).....	130

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1.1</i>	Acervo de imagens orbitais utilizadas no levantamento da linha de costa	21
<i>Tabela 3.1</i>	Acervo de imagens orbitais utilizadas no levantamento da linha de costa	47
<i>Tabela 3.2</i>	Classificação quanto a Taxa de Erosão, de acordo com o valor obtido na razão A/E.....	51
<i>Tabela 3.3</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Praia de Minhoto	54
<i>Tabela 3.4</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Barra do Fernandez	59
<i>Tabela 3.5</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Ponta do Tubarão	66
<i>Tabela 3.6</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Praia de Soledade	72
<i>Tabela 3.7</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Praia de Camapum	79
<i>Tabela 3.8</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Porto do Mangue	84
<i>Tabela 3.9</i>	Valores das áreas (em m ²) de erosão (E) e acresção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a Taxa de Erosão (E/P) e a Taxa de Deposição (A/P) para toda região monitorada, onde P é o período em dias.....	85



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I: **CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES**

I.1 - INTRODUÇÃO

I.1.1. - Apresentação

A presente Tese de Doutorado corresponde à etapa final das atividades de pesquisa e formação em pós-graduação desenvolvidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação de Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). As atividades de pesquisa realizadas estão vinculadas aos Projetos Cooperativos de Pesquisa Norte-Nordeste da REDE 05 - PETROMAR (CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq), que corresponde ao *Monitoramento Ambiental de Áreas sob Influência da Indústria Petrolífera*, que compreende os projetos dos seguintes temas de pesquisa: *Monitoramento Ambiental de Áreas de Risco à Derrames de Petróleo e Seus Derivados* (Projeto PETRORISCO) e de sua Fase 2 (Projeto PETRORISCO - Continuidade); *Monitoramento das Mudanças Ambientais e da Influência das Forçantes Hidrodinâmicas na Morfodinâmica Praial no Campo de Serra-Macau na Bacia Potiguar* (Projeto HIDROSEMA); e *Caracterização Geológico-Geomorfológica e Monitoramento da Dinâmica Costeira da Plataforma Continental da Bacia Potiguar* (Projeto POTMAR FNDCT/CTPETRO-FINEP/CNPq), que envolvem alunos, professores e pesquisadores desta Universidade e de outras instituições nacionais e internacionais. Nesta Tese de Doutorado foram apresentadas as atividades desenvolvidas com o apoio do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO) e do Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA), ambos do PPGG.

O princípio de todos esses projetos cooperativos de pesquisa é intrínseco aos interesses desta Tese de Doutorado, qual seja o monitoramento costeiro a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento e geofísicas para elaboração de cartografias temáticas que possibilitassem o levantamento de áreas de risco e de áreas de proteção ambiental quanto ao derrame de óleo e o prognóstico adequado das condições futuras da

zona costeira, fatores essenciais nas tomadas de decisões relativas às ações atuais e vindouras de atuação da indústria petrolífera na região.

I.1.2. - Introdução e Objetivos

As técnicas de geoprocessamento são uma importante ferramenta aplicada ao monitoramento, planejamento e na tomada de decisões voltadas às atividades antrópicas e ambientais, a partir de dados georreferenciados. O desenvolvimento de métodos de análise e previsão de mudanças através do espaço geográfico, de modo a permitir uma melhor compreensão da dinâmica evolutiva da área, já é uma realidade para diversos países que têm um ambiente morfodinâmico complexo no seu litoral, como por exemplo, Golfo do México no Texas/EUA que é monitorado pelo *Texas General Land Officer* (GLO), correspondente ao programa de monitoramento costeiro responsável pela identificação e estudo de áreas erosivas na região costeira do Golfo do México.

Neste contexto, o desenvolvimento e a aplicação de modelos visam, sobretudo, compreender o comportamento corrente de sistemas ambientais, de modo a auxiliar a projeção de seus estados futuros. Como resultado, os modelos computacionais que realisticamente simulem processos espaciais servirão para avaliar, quantitativamente e de maneira confiável, complexas questões ambientais em escala locais, regionais e globais (Steyaert, 1993).

Um padrão espaço-temporal pode auxiliar, além da compreensão do histórico evolutivo de um objeto de paisagem, na sugestão de como será a sua evolução a partir da comparação com históricos já existentes (Mota, 2006). As técnicas de análise espaço-temporal se baseiam na identificação de padrões e rastreamento da mobilidade dos objetos (como a linha de costa), a partir de observações individuais de cada período e as frequências das mudanças ocorridas na comparação entre períodos distintos.

Esta técnica foi empregada na avaliação da dinâmica dos ambientes costeiros e suas variações interanuais e decenais, baseado no processamento dos dados históricos e dados orbitais recentes obtidos para diferentes datas. Dessa forma, permitiu o mapeamento e a análise multitemporal de suas variações espaciais, principalmente quanto às modificações das linhas de costa dispostas em áreas ambientalmente sensíveis e sob

influência da indústria petrolífera (Singhroy, 1996; Barbosa *et al.*, 1999; Souza Filho, 2000; Souto, 2002; Grigio, 2003; Lima, 2004).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é a tecnologia que dá suporte ao desenvolvimento de vários trabalhos de geoprocessamento, chegando a ser considerado uma ciência e não como uma ferramenta. Em suma, o SIG é um conjunto de ferramentas computacionais compostos por *softwares*, *hardwares*, dados e pessoas no auxílio a manipulação, análise e apresentação de informações espacializadas (Goodchild *et al.*, 1997), o que permite explorar os dados armazenados num Banco de Dados, como o Banco de Dados Ambientais Georreferenciados (BDAG) desenvolvido pelo GEOPRO transformando-os em conhecimento e informação. Por meio do SIG, os dados podem ser integrados possibilitando assim uma análise mais acurada dos dados extraídos do BDAG e o planejamento das ações que se queira desenvolver.

A aplicação dessas técnicas na área em questão possibilita a otimização e implantação de novas atividades socioeconômicas, gerando impacto ambiental de menor proporção, resguardando áreas de proteção ambiental e beneficiando os investidores com uma melhor produtividade e segurança em áreas bem escolhidas para exploração de suas atividades.

Esta Tese de Doutorado tem como objetivo principal o monitoramento da variação de linha de costa por meio da análise de dados multitemporais georreferenciados, permitindo identificar as áreas de erosão/acresção baseada no posicionamento da linha de costa. Os objetivos secundários estão intrinsecamente relacionados com o objetivo principal, como: o levantamento histórico da linha de costa do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, entre os municípios de Porto do Mangue e de Galinhos; o cálculo de área e volume de erosão e acresção (ou deposição); a identificação de áreas de risco quanto à erosão; além do entendimento dos cenários atuais, das influências geológicas, estruturais e hidrodinâmicas e dos processos morfodinâmicos costeiros para região em estudo.

A formatação dos capítulos que se sucedem corresponde aos modelos de publicação de artigos e periódicos em meios especializados nos assuntos abordados nesta

Tese de Doutorado. O Capítulo II está na formatação completa para ser submetido à publicação, sendo que os demais capítulos estão sendo preparados para submissão.

I.1.3. - Problemática e Justificativa

O litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte possui importantes atividades socioeconômicas para seu desenvolvimento, altamente relevantes no balanço econômico do Estado, principalmente entre os municípios de Porto do Mangue e Galinhos, com o Pólo Industrial Petrolífero de Guamaré, a indústria salineira e a carcinicultura, além das atividades de pesca, fruticultura e agricultura em menor escala, que têm características de algum modo conflitantes entre si e com o meio ambiente. Tais atividades se encontram numa área marcada por intensa dinâmica costeira, onde os processos erosivos e deposicionais modificam a morfologia da costa em curto intervalo de tempo, o que justifica a integração de estudos científicos multitemporais, integrados na avaliação do comportamento evolutivo desse ambiente costeiro considerado de alta sensibilidade ambiental, por comportar unidades geoambientais como as planícies de marés, flúvio-estuarinas, campos dunares e áreas recobertas por vegetação de manguezal. Este estudo de monitoramento da evolução costeira é fundamental na identificação de áreas para proteção e recuperação, principalmente aquelas que já sofrem algum tipo de intervenção das atividades socioeconômicas.

A utilização de SIG aplicado ao planejamento e ordenamento da região costeira e das atividades socioeconômicas existentes na região possui diversas vantagens, que incluem o benefício da integração das técnicas de processamento digital de imagens de sensores remotos e a classificação temática com a análise espacial, de modo a realçar o reconhecimento dos terrenos onde se pretende desenvolver uma nova atividade socioeconômica ou mesmo para a prevenção de acidentes ambientais.

Os sistemas de sensores e os procedimentos computacionais adotados pelo Sensoriamento Remoto, estabelecidos a partir do início dos anos 70, permitem o estudo da evolução ambiental de uma região, desde o início da intensificação dos processos antrópicos, por meio de análises comparativas multitemporais dos produtos de sensores, integrados em ambiente SIG. A análise comparada de imagens de satélites é atualmente

um dos meios que se dispõe para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos e na detecção de mudanças geoambientais. Em combinação com aerofotogrametria e geodésia, com os recentes recursos dos SIG e aliados às novas técnicas de processamento e aos novos sensores remotos com mais altas propriedades nas resoluções, as imagens de satélite oferecem possibilidades, ainda pouco exploradas, de gerarem informações sinópticas e precisas para o diagnóstico e a avaliação da evolução de diversas variações da superfície terrestre. Deste modo, estudos multitemporais foram conduzidos, com resultados satisfatórios, em várias regiões do mundo interessadas em evidenciar mudanças ambientais, incluindo a área em apreço (e.g. Mesquita Junior, 1998; Disperati *et al.*, 1998; Paranhos Filho, 2000; Guedes *et al.*, 2002; Grigio, 2003; Grigio *et al.*, 2004 e 2005; Souto *et al.*, 2006).

Atualmente, a percepção do nosso planeta está mudando radicalmente mediante a manipulação e a interpretação dos dados geográficos com o auxílio de produtos de sensoriamento remoto, em conjunto com o emprego das ferramentas computacionais em SIG. O uso combinado desse conhecimento permite avaliar as mudanças globais ao longo do tempo, corroborando no entendimento dos processos geradores e no planejamento ações futuras.

I.1.4. - Localização e Vias de Acesso

A área em estudo está inserida na porção setentrional do litoral do Estado do Rio Grande do Norte, compreendida pelos municípios de Porto do Mangue, Macau, Guamaré e Galinhos, que abrange a Microrregião Macau e parte da Microrregião do Vale do Açu (IBGE, 2001; Figura 1.1). Encontra-se limitada pelas coordenadas UTM de 721 – 819 kmE e 9427 – 9460 kmN, com dimensão de 3.234 km² (Figura 1.2).

O acesso principal a área pode ser realizado pela rodovia federal BR-406, ao longo da qual estão as principais cidades da região. Pela BR-406 se tem acesso à cidade de Galinhos e à de Guamaré pelos trevos a partir das rodovias estaduais RN-402 (Cerca de 156 km de Natal) e RN-401 (Cerca de 170 km de Natal), respectivamente. Seguindo pela mesma rodovia federal, a sede da cidade de Macau dista de Natal, a capital do Estado, cerca de 181 km. O acesso à cidade de Porto do Mangue pode ser feito pela

rodovia federal BR-406 até o trevo próximo da cidade de Macau (175 km), seguindo 37 km pela rodovia estadual RN-118 e finalmente mais 40 km pela rodovia estadual RN-404, totalizando 252 km de Natal.



Figura 1.1 – Mapa das microrregiões do Estado do Rio Grande do Norte, em destaque para as microrregiões de Macau e Vale do Açu, onde está inserida a área de estudo (Fonte: IBGE, 2001).



Figura 1.2 – Localização da área de estudo entre os municípios de Porto do Mangue e Galinhos, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

I.2 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

I.2.1. - Clima

O clima da área estudada é semi-árido, apresentando, de modo geral, altas temperaturas e chuvas escassas, sendo bem definido por duas estações: uma estação seca com período mais longo (de 7 a 8 meses), que segue dos meses de abril a janeiro (Figura 1.3), e uma estação de “inverno” com período pluvial curto nos meses de fevereiro a maio (Figura 1.3).

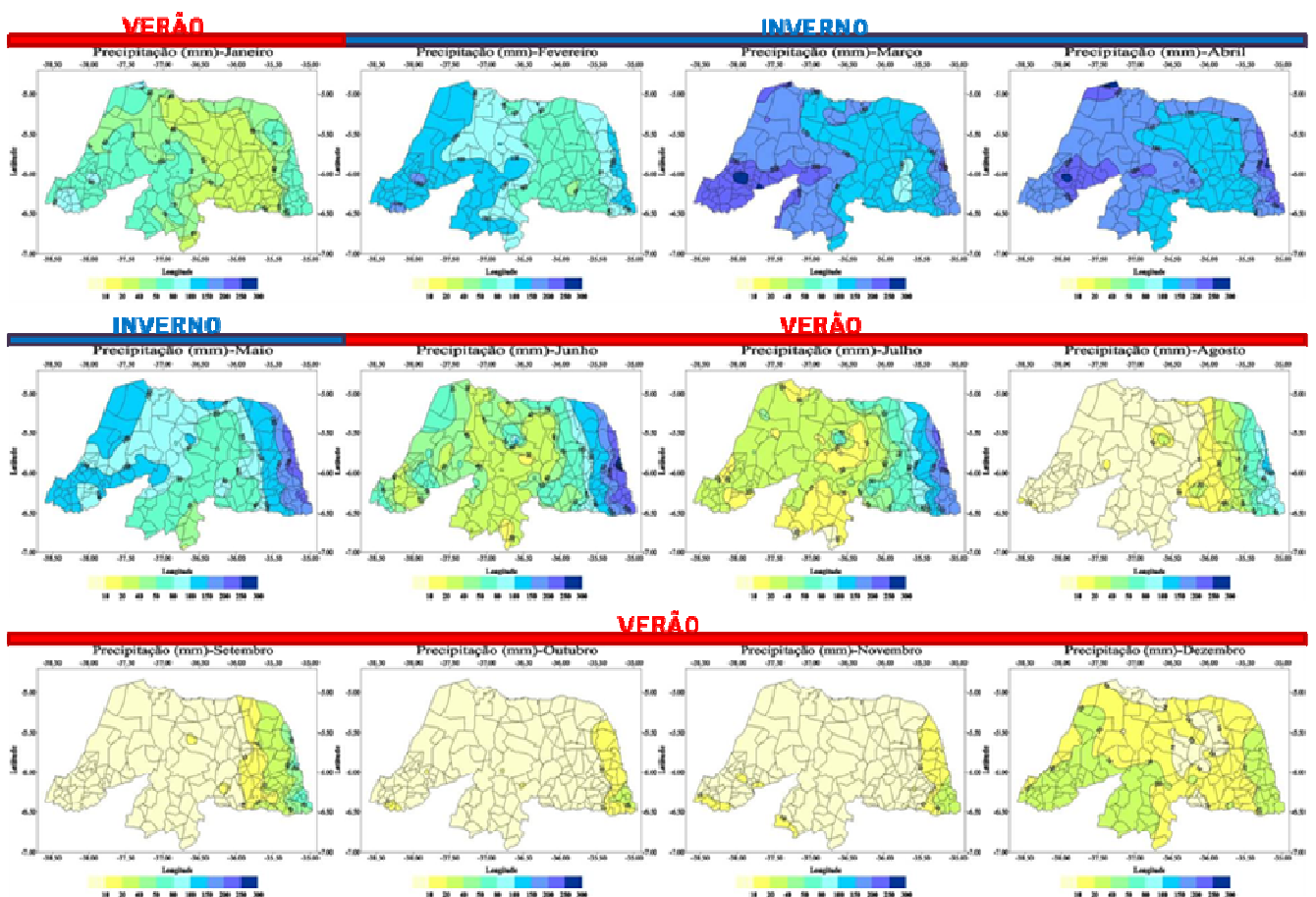


Figura 1.3 – Mapas de isolinhas referentes à precipitação do mês de janeiro até do mês de dezembro para o ano de 2008 com a marcação das estações de verão (linha vermelha) e de inverno (linha azul). (Compilado de EMPARN, 2008).

Devido à proximidade com a Linha do Equador, a área estudada possui uma temperatura elevada, que de acordo com os dados da EMPARN (2008) a média anual para o ano de 2008 foi de 27° C (Figura 1.4A), com mínima de 23° C no mês de março durante o período de “inverno” (Figura 1.4B) e máxima de 33° C no mês de novembro durante o período da estação seca (Figura 1.4C).

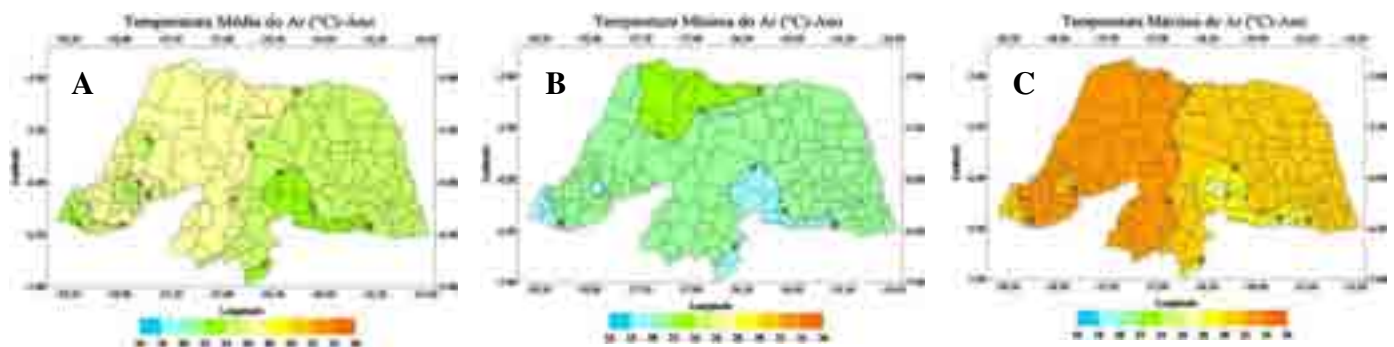


Figura 1.4 – Mapas de isolinhas referentes à média anual de temperatura (A), a temperatura mínima (B) e a temperatura máxima (C). (Compilado de EMPARN, 2008).

Esta porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte é caracterizada pela grande incidência de energia solar, com regime térmico uniforme marcado por temperaturas elevadas e pequenas variações no decorrer do ano. Esta situação ocorre devido aos fatores geográficos da região, como a baixa latitude, a baixa altitude, a proximidade do mar e o relevo plano a suavemente ondulado.

A umidade relativa média anual é de 68%, podendo ocorrer uma variação anual de 20% para cima quanto para baixo (IDEMA, 1999). Isto permite configurar num clima semi-árido, classificando-se como tipo *BSW'h*, segundo a classificação climática de Köppen (1948), que é caracterizado por um clima quente e úmido com chuvas no verão e precipitações máximas no outono, com períodos mais chuvosos nos meses março a abril. A precipitação pluviométrica média de 537,5 mm na área, possuindo máxima precipitação de 1.780,6 mm e o mínimo de 53,0 mm (IDEMA, 1999).

1.2.2. - Hidrografia

A rede hidrográfica da área estudada está inserida na porção N da maior bacia hidrográfica que deságua no litoral norte potiguar (A Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu), que é constituída por uma ampla rede de drenagem de vários tamanhos. Os de maior porte são os rios Piranhas-Açu e dos Cavalos, sendo os rios das Conchas, Casqueira e Conceição considerados de médio porte (Figura 1.5), e os rios de menor porte correspondem redes de escoamento pluvial em áreas mais elevadas e nas porções mais baixas são conhecidos como canais de maré (no interior das áreas estuarinas).



Figura 1.5 – Imagem da série CBERS mostrando os principais rios existentes na área monitorada.

A área de estudo engloba três estuários: o de Barreira/Diogo Lopes, o de Galinhos/Guamaré e o de Macau/Porto do Mangue, considerado um dos maiores do Estado do Rio Grande do Norte. Esses estuários se diferenciam dos demais do Estado por possuírem ilhas barreiras e penínsulas (ou esporões arenosos) que os protegem das ações de ondas e correntes litorâneas de mar aberto, mas sujeitos à ação das marés, que, de acordo com Araújo *et al.* (2004) possuem variação máxima entre a preamar e a baixamar de 330 cm e a mínima de 90 cm, respectivamente.

Os outros rios são intermitentes e quase sempre abastecem as lagoas ou os lençóis freáticos, não atingindo diretamente o oceano ou os rios dominados pela maré. Mesmo a água “doce” que provêm do continente não consegue alcançar a foz dos rios, onde a força da maré se sobrepõe, deixando assim a zona de mistura a quilômetros da costa. Isso se deve principalmente as construções de barragens ao longo por percurso dos rios, como a construção da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro (obra iniciada em 1979 e

concluída em 1983, Figura 1.6). A maioria das lagoas que se encontram na porção interdunar corresponde à parte aflorante do lençol freático da região.

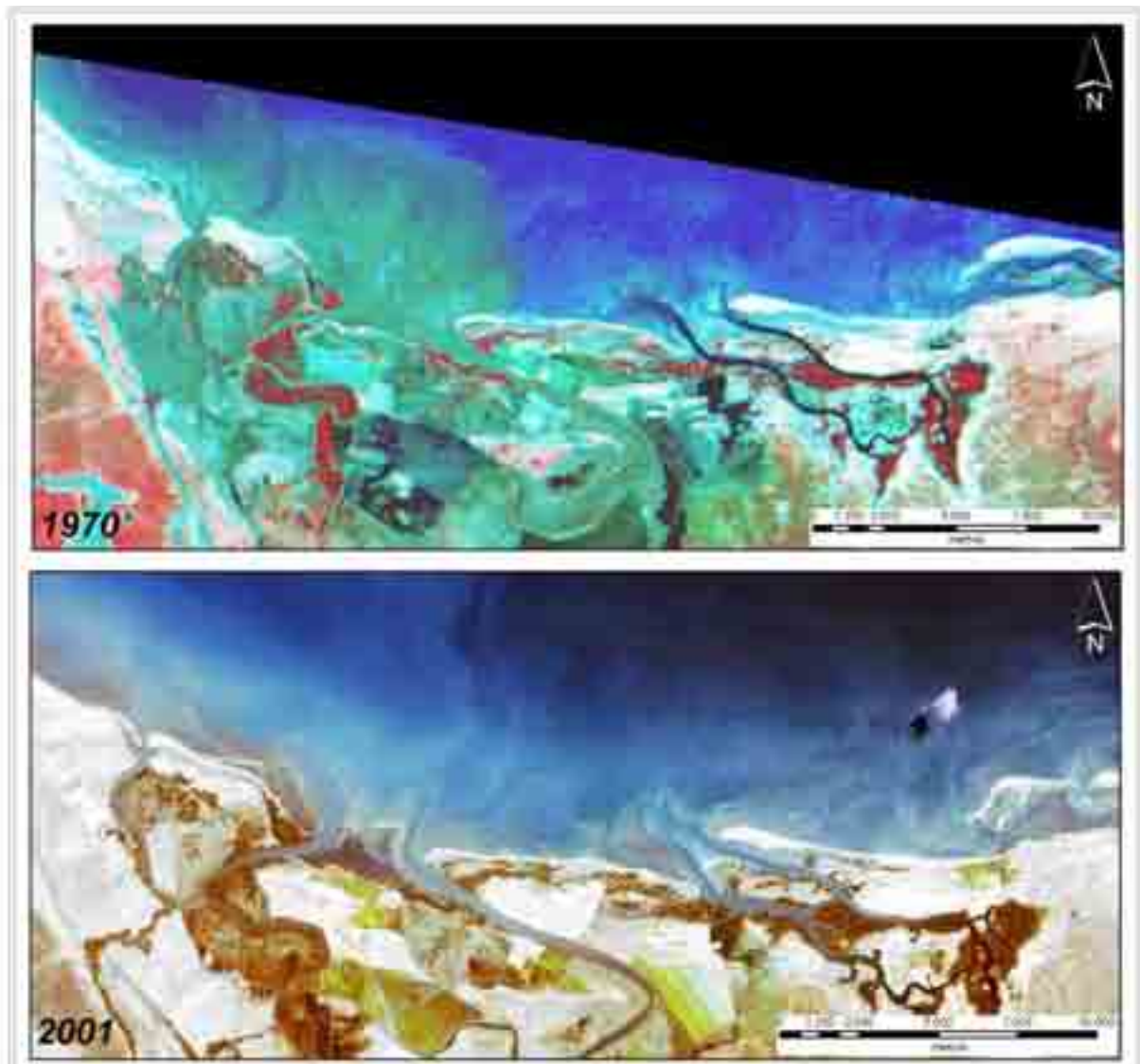


Figura 1.6 – Imagens da série Landsat mostrando a foz do rio Açu em dois momentos distintos mostrando a pluma de sedimento em suspensão: (A) antes da construção da barragem Eng. Armando Ribeiro com uma grande pluma de sedimento formada na foz do rio e (B) depois de finalizada a construção da barragem a pluma de sedimento é quase que inexistente. Em destaque em ambas as imagens o sedimento em suspensão.

I.2.3. - Hidrodinâmica Costeira

O ambiente costeiro é um dos mais afetados pelos agentes modeladores da paisagem, por se tratar de uma região de transição terra/mar, sua localização geográfica a expõe aos diversos agentes, dentre os principais estão os ventos, as ondas, as marés e as correntes litorâneas. Além desses fatores naturais, existe ainda o fator antrópico que, em muitos casos, funciona como catalisador na alteração deste ambiente.

Os ventos para área estudada são marcados por dois *trends* principais: um SE e outro ENE (Caldas, 2002). Os ventos com *trend* SE surgem geralmente entre os meses de março e julho, apresentando-se mais suaves, com velocidades médias mensais de 4,8 m/s (Caldas, 2002). Esses ventos são construtivos, pois colaboram com alimentação das praias (ou engorda), por vezes com formações de pequenas dunas, pelos sedimentos contidos nas dunas eólicas e nas planícies estuarinas.

Por outro lado, os ventos com *trend* ENE, que surgem entre os meses de agosto e dezembro, apresentam velocidades mais fortes, com médias mensais de 7,7 m/s (Santos, 2003), mas suas velocidades podem ser superiores a 8,5 m/s (Figura 1.7), como foi apontado na pesquisa realizada pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e divulgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANAEL) pelo trabalho de Feitosa *et al.* (2002). Entre estes meses é considerado crítico quanto à erosão das praias, onde as ondas, associado a amplitude máxima de maré de sizígia, alcançam o litoral com maior energia, provocando grandes danos ao longo da costa. Portanto, esses ventos são considerados como destrutivos. Os ventos de *trend* ENE também são responsáveis pela formação dos campos de dunas eólicas ao longo do litoral (Figura 1.8), formando dunas do tipo parabólicas (mais antigas), que correspondem a um regime de ventos mais fortes, e do tipo barcanóides (mais recentes), caracterizadas por um regime de ventos mais brandos.

As ondas ao se aproximarem da zona costeira, o fluxo apresenta a mesma direção dos ventos dominantes (ENE). De acordo com Chaves *et al.* (2006), que realizaram um trabalho de monitoramento com medidas dos parâmetros do meio físico, a altura significativa das ondas variou entre 0,125 a 0,722 m, onde as alturas máximas e mínimas ocorrem nos meses de novembro e maio, respectivamente. Apresentam uma média do ângulo de incidência das ondas de 305° em relação a linha de costa (no período de novembro de 2000 a junho de 2001).

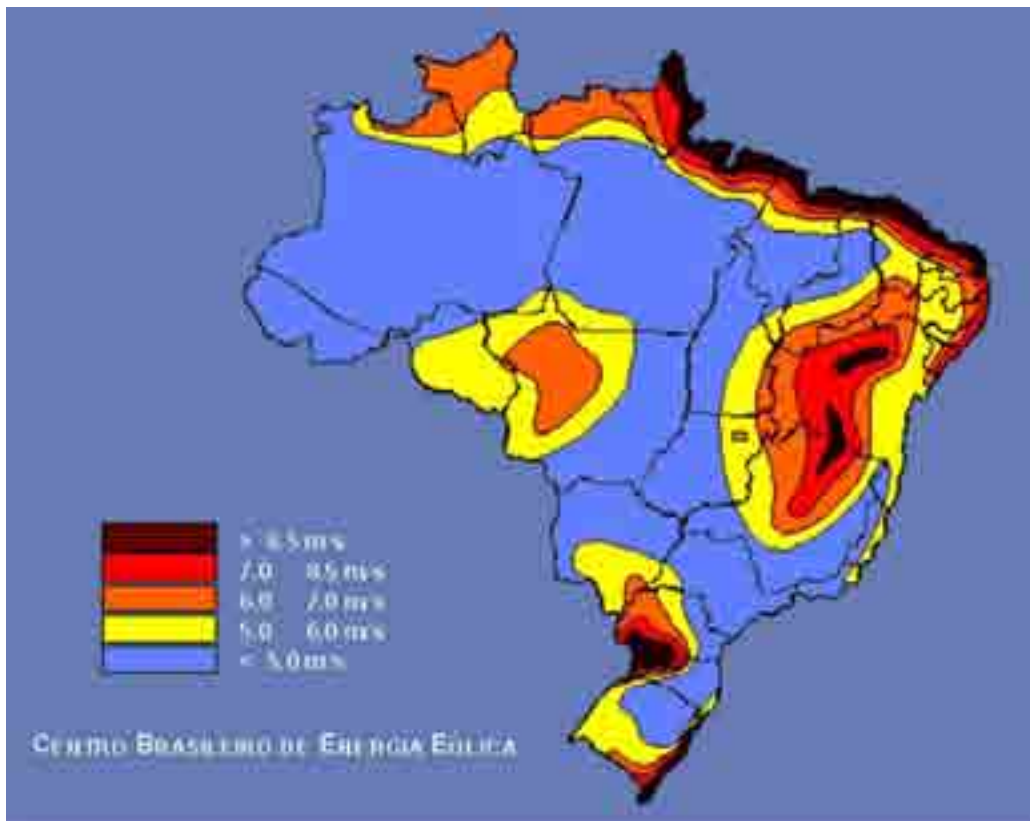


Figura 1.7 – Mapa de velocidade dos ventos para todo Brasil (Fonte: Feitosa *et al.*, 2002).



Figura 1.8 – Destaque na ocorrência de campos de dunas eólicas na região, sendo caracterizada por dois tipos: (A) barcanóides e (B) parabólicas.

Na plataforma externa do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, um ramo da Corrente Equatorial Sul, alcança velocidades superiores a 2,3 m/s para W (Silva, 1991). As correntes marinhas formam-se em resposta à ação combinada entre a orientação preferencial EW da linha de costa, a direção preferencial E-SE dos ventos e ao fluxo de ondas provenientes de NE-E, acarretando uma importante corrente de deriva litorânea (*longshore drift*) na direção oeste. Alguns trabalhos (entre eles Chaves e Vital, 2001) sugerem que a direção predominante desta corrente é caracterizada pela orientação EW com migração para W dos pontais arenosos costeiros (*spits*) e canais de maré (*inlets*). As correntes superficiais na região de Macau apresentam velocidades máximas de 1,103 m/s e mínimas de 0,171 m/s para W, nos meses de novembro e maio, respectivamente. Variando com um ângulo de incidência do *trend* de ondas, em relação à linha de costa, numa média de 0,637 m/s.

O regime é de mesomaré, que é caracterizado pelas marés do tipo semidiurnas, apresentam desigualdade diária, com nível de maré de quadratura da ordem de 127,79 cm e nível médio de maré alta de sizígia de 284,55 cm. Na região do sistema Galinhos-Guamaré (Lima *et al.*, 2001), as marés e os gradientes de densidade são os principais fatores que afetam o fluxo e a mistura das águas, pois este sistema tem aporte mínimo de águas doces, as tempestades na região são raras, o clima e a temperatura são constantes o ano inteiro. Para esta região, a temperatura média da água do mar é de 28° C, por vezes com 27° C durante o fluxo de maré enchente e com 29° C na maré vazante, sendo de 28° C a temperatura em mar aberto. A salinidade nos canais é alta, cerca de 38,2%, comparada ao mar aberto (37,2%), devido à elevada evaporação.

1.2.4. - Contexto Geológico-Tectônico

A área de estudo está inserida na Bacia Potiguar, que é delimitada geologicamente a Sul, a Leste e a Oeste pelas rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino provenientes da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977) e ao Norte até a isóbata de 2.000 m (Figura 1.9), que é marcado pela quebra da plataforma continental (Bertani *et al.*, 1990). Sua área total abrange aproximadamente 60.000 km², dos quais 36.000 km² (60 %) correspondem à porção submersa e 24.000 km² (40 %) correspondem à porção emersa (Angelim *et al.*, 2006).

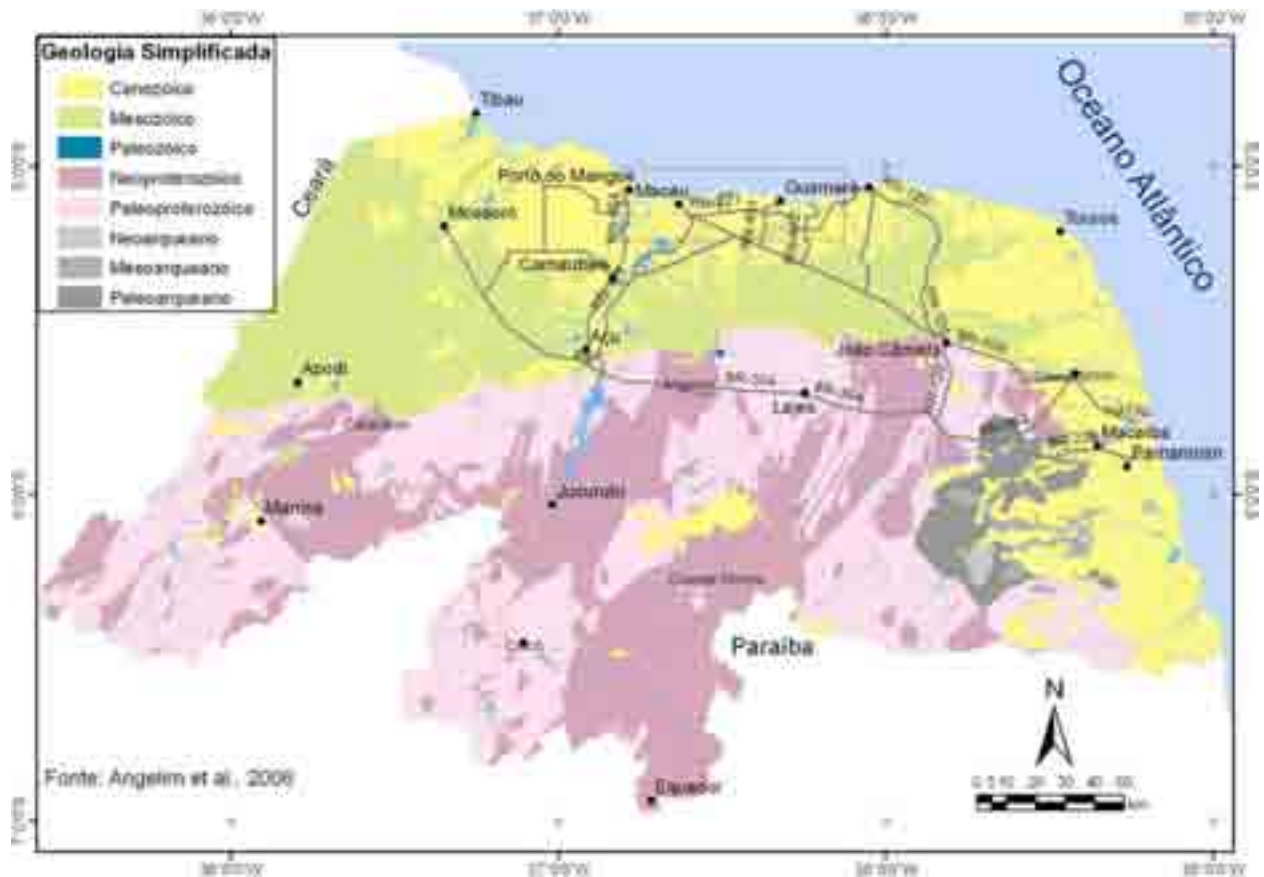


Figura 1.9 – Mapa geológico simplificado do Estado do Rio Grande do Norte com a localização da área de estudo.

O embasamento cristalino da Bacia Potiguar foi caracterizado por Jardim de Sá (1984, 1994), como sendo constituído por diversas faixas de rochas supracrustais e domínios gnaíssico-migmatíticos, com *trend* NE, interceptadas a sul pela Zona de Cisalhamento Patos, com direção E-W.

A Bacia Potiguar é composta por rochas sedimentares marinhas e continentais de idade Cretácea e com contato desconforme por depósitos continentais Mioceno-Plioceno referentes da Formação Barreiras (Suguio & Nogueira, 1999). Depósitos do Pleistoceno (aluvional, eólico e marinho) recobrem as unidades mais antigas ao longo dos vales de rios e das zonas costeiras (Pessoa Neto, 2003) (Figura 1.10).

A partir dos trabalhos de diversos autores (Bertani *et al.* 1987; Cremonini *et al.* 1996; entre outros), pode ser traçada uma configuração geométrica da estrutura da bacia, a qual seria constituída por um conjunto de *grabens* assimétricos (Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista) de direção NE, levemente oblíquos aos principais lineamentos do

embasamento cristalino a sul da bacia. Altos do embasamento separam os principais grabens da bacia. Esses altos consistem de cristas alongadas formadas por gnaisses, migmatitos ou xistos, soerguidas por falhas normais (Macau, Serra do Carmo e Quixaba).

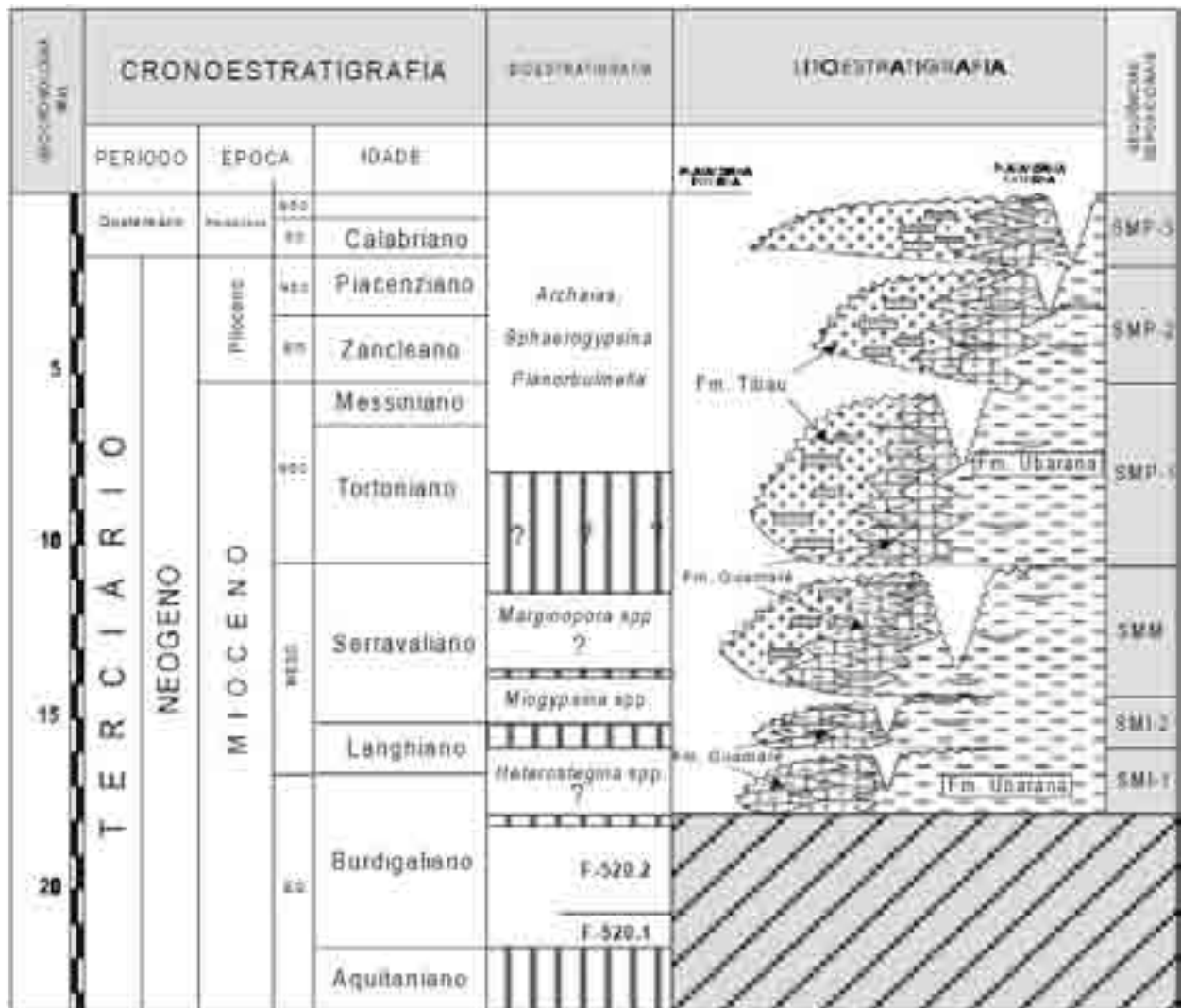


Figura 1.10 – Coluna cronoestratigráfica, com os eventos de maior magnitude e registros litológicos (Fonte: Pessoa Neto, 2003).

A evolução tectônica da Bacia Potiguar está relacionada aos esforços extensionais durante o Cretáceo Inferior (Neocomiano), que culminou no rifteamento e em seguida a separação das placas tectônicas sul-americana e africana (Matos, 1987 e 1992). Segundo Cremonini *et al.* (1996), a superposição de fases de rifteamento gerou um complexo padrão de falhamentos NE-SW e NW-SE na Bacia Potiguar (Figura 1.11). Tais falhamentos, foram posteriormente mapeados pelos grandes lineamentos identificados

por meio dos levantamentos geofísicos e de sensoriamento remoto (Fortes, 1982; Hachspacker *et al.*, 1985).



Figura 1.11 – Mapa da representação do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar. (Modificado: Bertani *et al.*, 1990; Araripe & Feijó, 1994).

A partir da identificação desses grandes lineamentos, Fonseca (1996) e Dantas (1998) destacaram dois conjuntos de lineamentos principais, adotando o termo Sistema de Falhas de Carnaubais para direção NE-SW e Sistema de Falhas de Afonso Bezerra para direção NW-SE (Figura 1.12).

Caldas (1996) aventou a possibilidade da relação inerente entre a geometria do litoral de Caiçara e São Bento do Norte com a direção da Falha de Carnaubais, sendo identificado o prolongamento dessa falha da porção emersa para porção submersa na Bacia Potiguar (Figura 1.13) por Tabosa *et al.* (2002), por meio de imagens orbitais e de dados batimétricos.

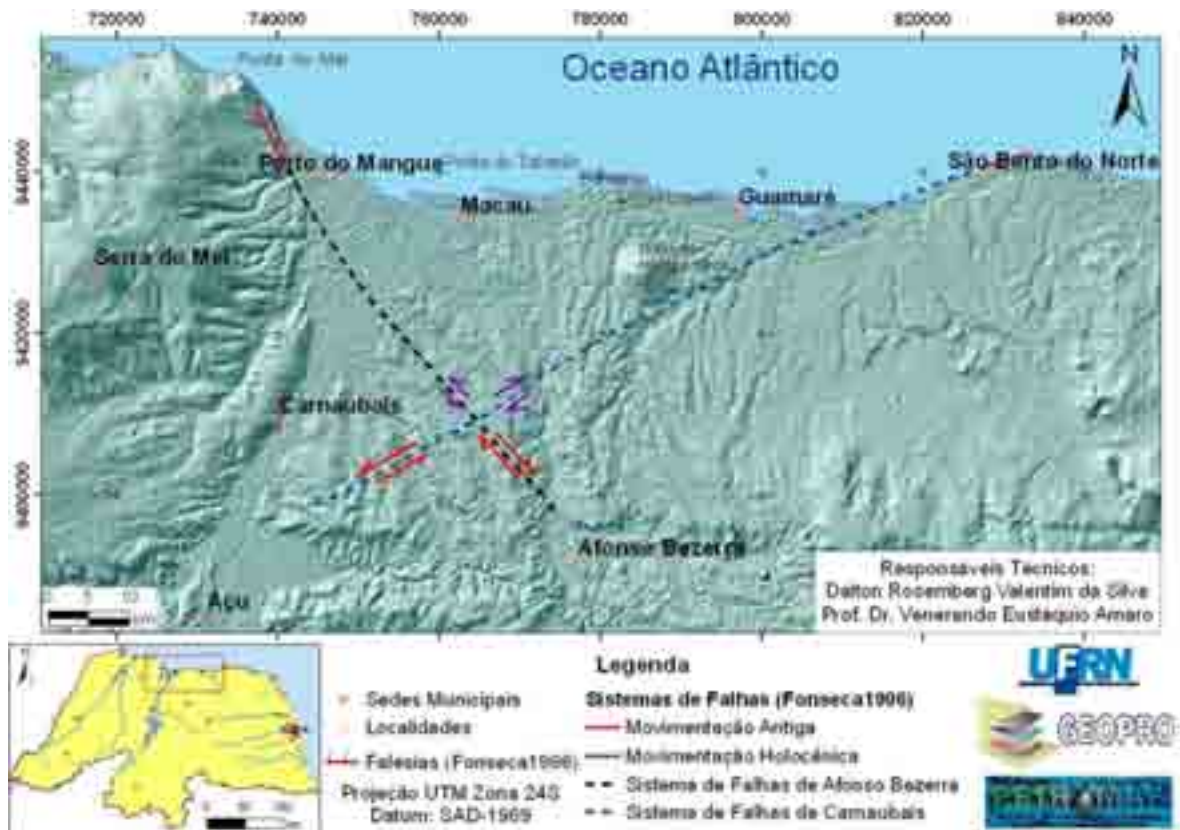


Figura 1.12 – Mapa da representação dos dois principais sistemas de falhas estruturais: Afonso Bezerra e Carnaubais (Fonte: Valentim da Silva, 2008).

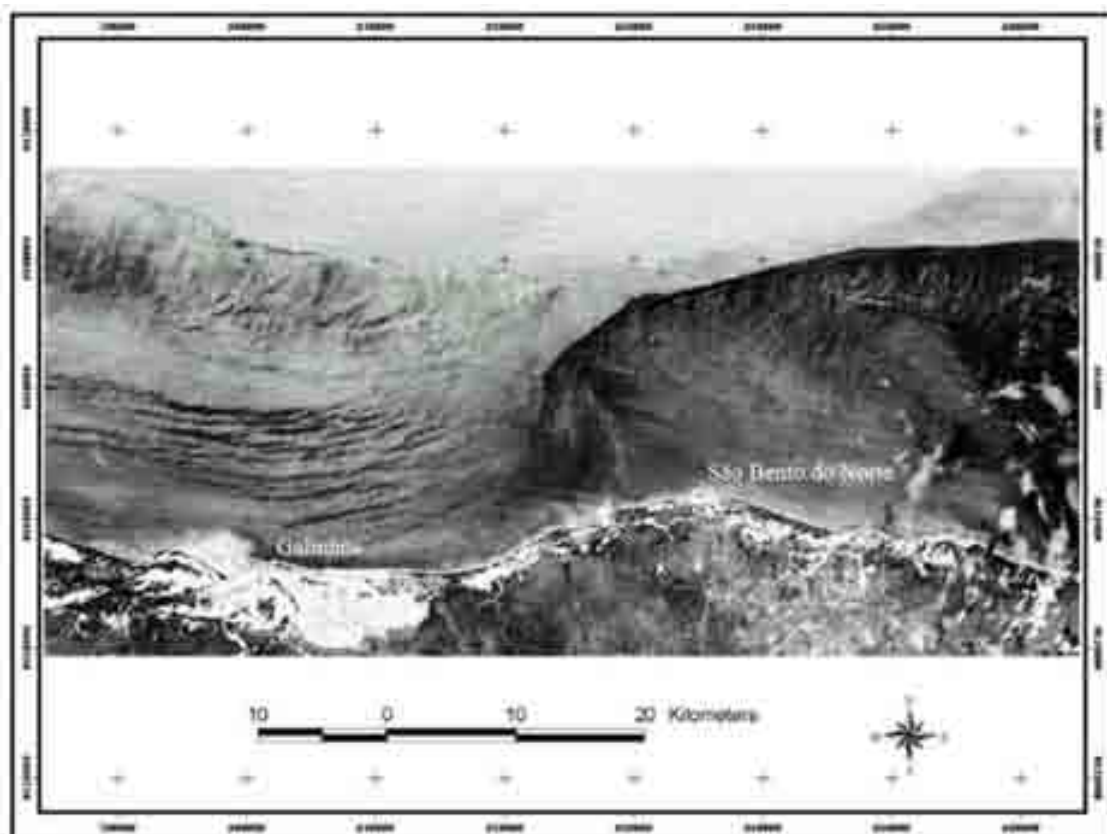


Figura 1.13 – Imagens Landsat 5 TM realçadas por técnicas de PDI que destacam a morfologia da plataforma continental da porção submersa da Bacia Potiguar. Possível continuidade da falha de Carnaubais. (Compilado: Tabosa, 2002).

Segundo Silva (1991), a evolução sedimentar holocênica (nos últimos 2.000 anos) para região de Macau é controlada por falhamentos normais. De acordo com Vital *et al.* (2003), os Sistemas de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra denotam o controle sedimentar para região costeira e conseqüentemente sua morfologia, na qual ocorre a formação de esporões arenosos e de ilhas barreiras situados somente entre esses dois sistemas de falhas.

Torres (1994) estudando eventos tectônicos na Bacia Potiguar, reconheceu estruturas que indicam deformações recentes em unidades terciárias e quaternárias. Estas estruturas, por vezes, constituem-se nos principais gerenciadores do contexto morfo-neotectônico regional.

Estudos neotectônicos realizados por Bezerra *et al.* (1998) apontaram que a porção leste da Falha de Carnaubais esteve submetida a soerguimento nos últimos 5.000 anos, por meio de datações dos *beachrocks* e dos terraços marinhos pelo método ^{14}C , indicando deslocamentos de cerca de 4-5 m dos depósitos costeiros do Holoceno. Isso corrobora com as atividades ocorridas ao longo da costa, que por vezes apresentam-se orientadas, demarcando estruturas que estão em subsuperfície.

I.3 - ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

I.3.1 - Introdução

A metodologia aplicada na elaboração desta Tese de Doutorado foi desenvolvida em conjunto com a equipe de pesquisa do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO) do Departamento de Geologia e objetiva o monitoramento geoambiental da área em estudo por meio de produtos de sensores remotos e técnicas de geoprocessamento, com o enfoque para o levantamento, a avaliação e o prognóstico dos aspectos da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte.

I.3.2 - Levantamento da Linha de Costa

Esta metodologia se baseia nas técnicas de análise multitemporal desenvolvidas por Souto (2002 e 2004), a partir do processo de obtenção, gerenciamento e análise dos dados coletados num ambiente SIG. Esta técnica consiste no levantamento das linhas de costa para diferentes datas, vetorizadas a partir da interpretação de imagens orbitais do tipo Landsat (sensores MSS, TM e ETM+) e CBERS (sensor CCD), pois apresentam resolução espacial muito próximas, sendo integradas e cruzadas entre si por meio do *software* ArcGIS® v9.2.

O levantamento da linha de costa consiste na demarcação do limite das áreas úmidas e secas (Figura 1.14), que corresponde à altura da maré máxima na região de antepraia obtida no momento do imageamento das imagens orbitais. Tais limites são tanto perceptíveis *in loco* como também em fotografias aéreas de baixo ângulo, imagens orbitais de alta e moderada resolução espacial (Figuras 1.15) e servem como marcador no levantamento das linhas de costa usando produtos de sensores remotos. Para o levantamento com uso do GPS Geodésico, pelo método RTK (*Real Time Kinematic*), o período Lunar do levantamento foi realizado nas marés de quadratura, onde a variação de maré é mínima.



Figura 1.14 – Fotografias mostrando o limite das áreas úmidas e secas vistas *in loco*.

No escopo da Tese de Doutorado foi selecionada uma ampla área de pesquisa, pois permitiria obter-se uma visão sinóptica dos acontecimentos, onde o levantamento da linha de costa ao longo dessa área, para datas da década de 70, 80, 90 e 2000 (Tabela

1.1), possibilitassem uma análise qualitativa e quantitativa do comportamento histórico da morfologia costeira, no acompanhamento das mudanças ocorridas ao longo do tempo.

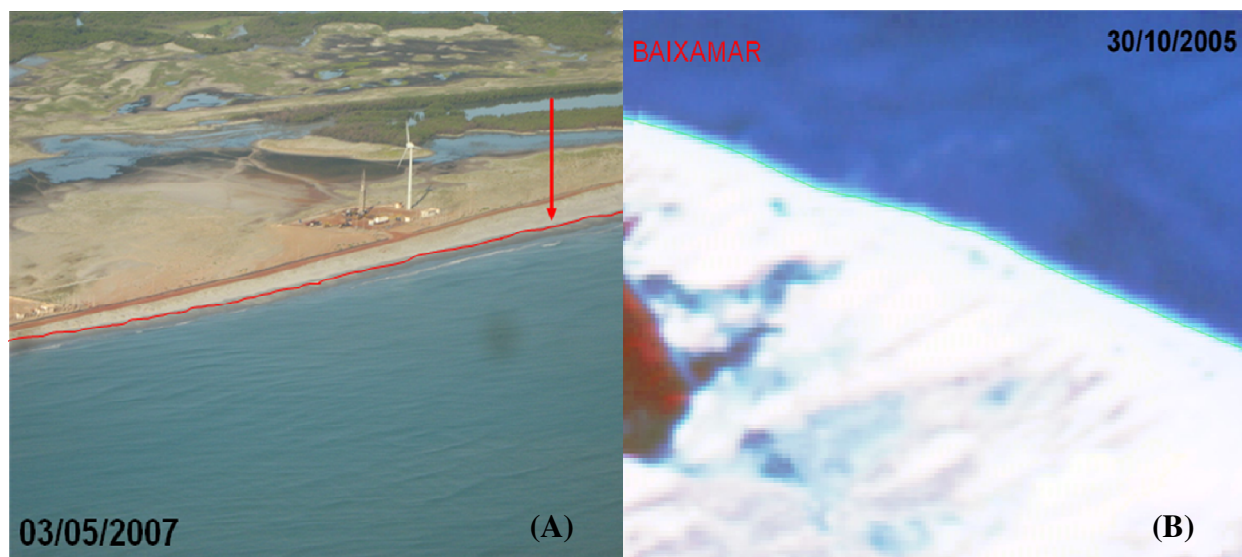


Figura 1.15 – (A) Fotografia de baixo ângulo e (B) imagem orbital CBERS 2 CCD. Em destaque os limites das áreas úmidas e secas.

Tabela 1.1 – Acervo de imagens orbitais utilizadas no levantamento da linha de costa.

Data	Plataforma	Sensor	Resolução
26/07/1973	Landsat	1-MSS	80 m
17/05/1976	Landsat	1-MSS	80 m
19/08/1977	Landsat	2-MSS	80 m
25/05/1978	Landsat	2-MSS	80 m
03/09/1981	Landsat	3-MSS	80 m
02/08/1989	Landsat	5-TM	30 m
28/09/1998	Landsat	5-TM	30 m
13/06/2000	Landsat	5-TM	30 m
26/07/2001	Landsat	7-ETM+	30 m
06/11/2002	Landsat	7-ETM+	30 m
29/05/2003	Landsat	7-ETM+	30 m
05/10/2004	CBERS	2-CCD	20 m
30/10/2005	CBERS	2-CCD	20 m
03/10/2006	CBERS	2-CCD	20 m
03/04/2007	CBERS	2-CCD	20 m

Souto (2004) obteve resultados satisfatórios usando esta técnica, onde apontou três áreas críticas quanto à erosão costeira para a região de Macau/RN (Figura 1.16), que se agravaram ao longo dos últimos três anos monitorados durante o desenvolvimento desta pesquisa. O autor destacou as grandes modificações ocasionadas pelo efeito

erosivo na região, aonde os processos hidrodinâmicos vêm consumindo significativamente praias e dunas ao longo de cada mês nas barras arenosas de Fernandes e Corta Cachorro e na ilha barreira da Ponta do Tubarão (Figura 1.17). Estas áreas mais críticas serviram como alvo de estudo, por sofrerem grandes mudanças e por serem importantes para o sistema geoambiental costeiro.

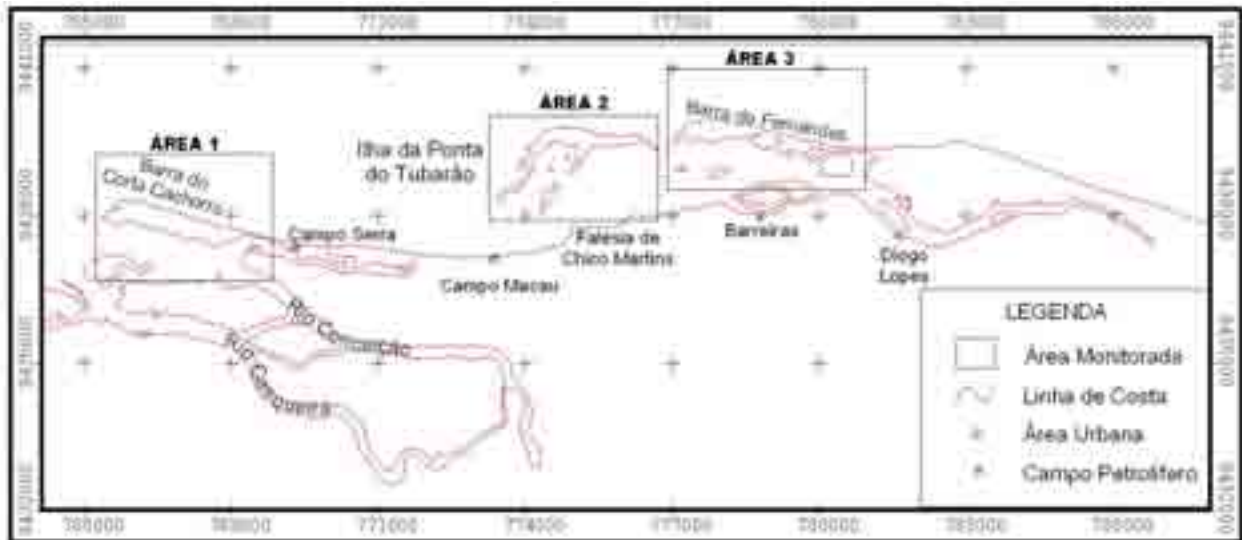


Figura 1.16 – Vista de toda área com a linha de costa para o ano de 2003, mostrando a migração dos esporões arenosos para W, e o limite das três áreas críticas quanto aos processos erosionais atuantes na região (Compilado: Souto, 2004).

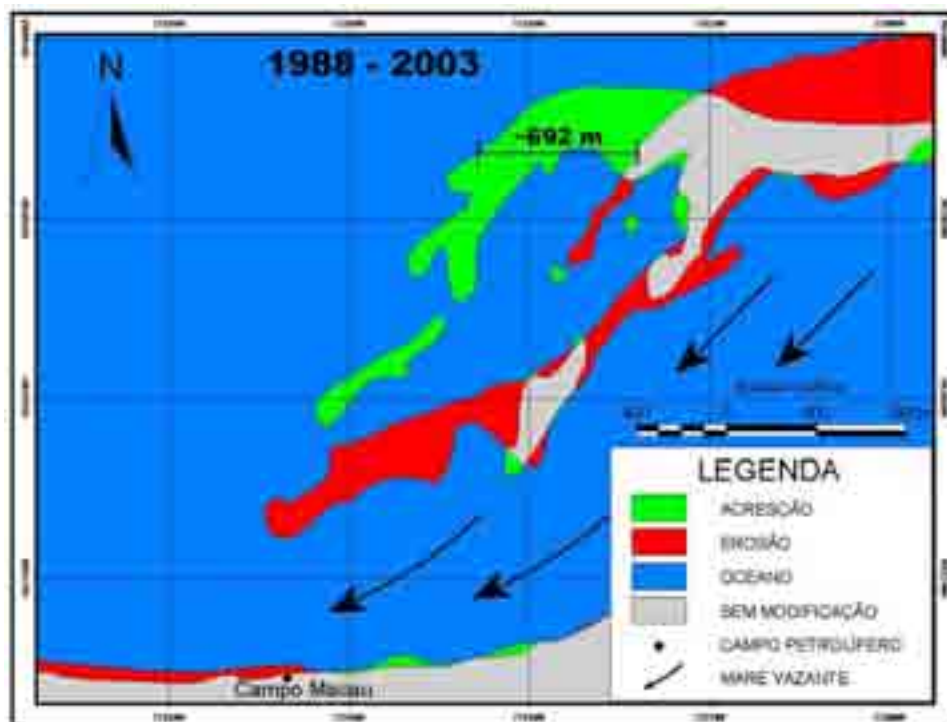


Figura 1.17 – Mapa da morfodinâmica costeira, mostrando as áreas erodidas e as áreas acrescidas para região da Ponta do Tubarão. (Compilado: Souto, 2004).

I.3.3 - Modelamento Digital do Terreno

Esta é outra ferramenta aplicada para o desenvolvimento desta Tese de Doutorado, que permitiu analisar a morfologia do terreno em formato digital para períodos distintos, possibilitando uma análise em três dimensões (3-D) das mudanças ocorridas no tempo.

A elaboração de modelos digitais de terreno (MDT) foi possível por meio da aquisição de dados altimétricos pelo GPS Geodésico do tipo L1L2, que permite adquirir as informações topográficas em tempo real para pequenos trechos de terrenos. Esta técnica de levantamento é conhecida como *Real Time Kinematic* (RTK), que se baseia no uso das observações de fase da portadora dos sinais do GPS/NAVSTAR, GLONASS, onde uma estação de referência fornece correções em tempo real, que possibilitam um nível centimétrico de acurácia (Figura 1.18).



Figura 1.18 – Equipamentos utilizados no levantamento dos dados topográficos com uso do GPS Geodésico do tipo L1L2 da Topcon (modelo Hiper Lite Plus).

Esta técnica foi adotada pelo grupo de pesquisa GEOPRO, que efetivou o levantamento com o uso de veículo durante a aquisição dos dados em campo (Figura 1.19). Para aplicação desta técnica, primeiro foram instalados na área estudada marcos

geodésicos para que servissem como ponto de referência no levantamento altimétrico em períodos distintos.



Figura 1.19 – Levantamento topográfico utilizando veículos.

Inicialmente foi instalado um marco geodésico num local protegido da erosão na região, denominado de “base principal”. Essa base principal corresponde um marco de cimento de 80 kg na forma piramidal (Figura 1.20) e com uma chapa de reconhecimento (Padrão IBGE), com suas coordenadas levantadas com uso do GPS Geodésico do tipo L1L2 da Topcon modelo Hiper Lite Plus e corrigidas com apoio da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), em que para tal, por meio do pós-processamento a base principal foi corrigida através dos dados coletados no mesmo período nas estações com coordenadas conhecidas do IBGE, que estão distribuídas em vários estados do país (Figura 1.21). Essas estações coletam o arranjo orbital dos satélites durante o mesmo período de levantamento de campo. Neste caso, foram adquiridos os dados a partir das antenas do Crato/CE e de Recife/PE (Anexos 1 e 2).

Após a obtenção da base principal foram instalados outros marcos menores, confeccionados com cano de PVC de 1,2 m de comprimento e preenchidos com cimento, sendo dois em cada alvo levantado (Figura 1.22), pois na perda de um desses marcos se utilizaria o outro para o levantamento de campo. A técnica de correção das coordenadas para esses marcos é semelhante àquela realizada para a base principal, porém não foi preciso utilizar os dados das antenas do IBGE como ponto de referência, pois a própria base principal foi usada como ponto conhecido para se fazer as correções. Uma antena

ficava coletando as informações durante um período contínuo no tempo na base principal e a outra antena localizada nos novos marcos coletava as informações do arranjo dos satélites dentro o período de tempo da base principal.



Figura 1.20 – (A) Base principal sendo instalada na área. (B) Destaque da chapinha de reconhecimento.



Figura 1.21 – Ilustração com a localização das antenas do IBGE nos Estados do Brasil, que compõem o sistema RBMC (Fonte:IBGE, 2008).

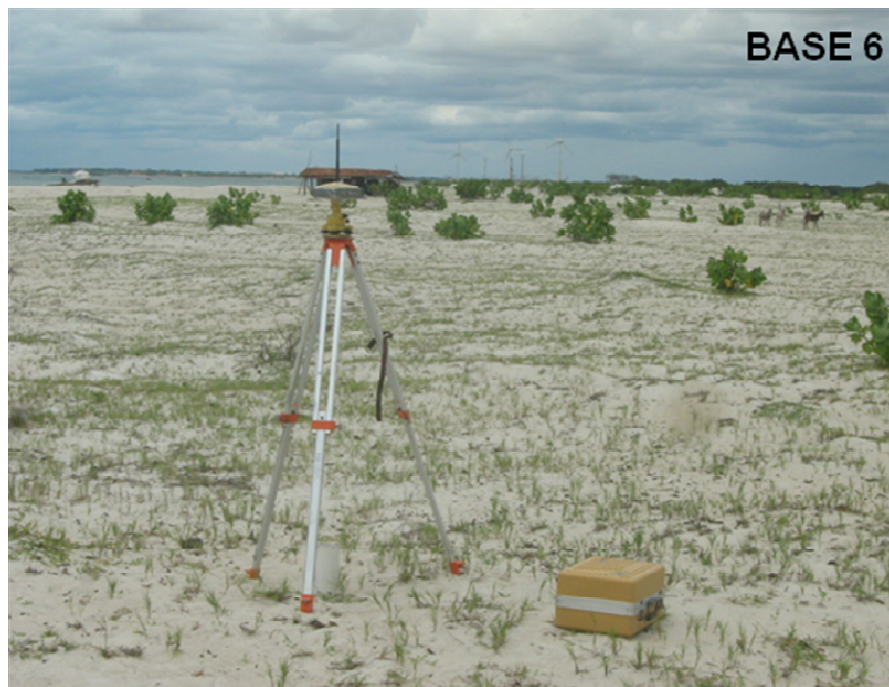


Figura 1.22 – Marcos menores em uso durante o levantamento topográfico com a antena base instalada para aquisição e transmissão dos dados (Base 6).

Os trechos de levantamento foram definidos de acordo com os alvos selecionados a partir das áreas mais críticas definidas por Souto (2004), que correspondem às áreas de maior modificação quanto à morfologia da linha de costa. O equipamento GPS Geodésico proporcionou levantamentos com erro mínimo centimétrico tanto para a informação horizontal (coordenadas X,Y) como para a informação vertical (coordenada Z) na espacialização dos dados obtidos em campo. O percurso realizado durante o levantamento sempre era feito em duas etapas. A primeira etapa fazendo o perímetro da área, que possibilitava visualizar os limites máximos que teriam que ser percorridos na segunda etapa do levantamento que consistia numa formação em “zig-zag” para que se gerasse uma malha de amostragem do terreno (Figura 1.23).

Depois de obtidas as informações das coordenadas (X,Y,Z) durante o levantamento realizado com o GPS, os dados foram filtrados e tratados com interpolações usando o modelo TIN (Rede de Triângulos Irregulares) no 3D Analyst do pacote ArcGIS® v9.2 (Figura 1.24). Isso possibilitou corrigir áreas não percorridas, onde o produto da interpolação mostrava inconsistência com o terreno real. Nestas áreas deficientes de pontos, foi feita uma análise dos valores da vizinhança e aplicado uma média aritmética para geração de um ponto que corrigisse os dados para essas áreas

falhas. Também foi criada uma malha regular no entorno das áreas de demarcação do oceano e de mesmo tamanho para as diferentes datas adquiridas, que possibilitasse uma análise evolutiva de deslocamento dos corpos ao longo do tempo (Figura 1.25).

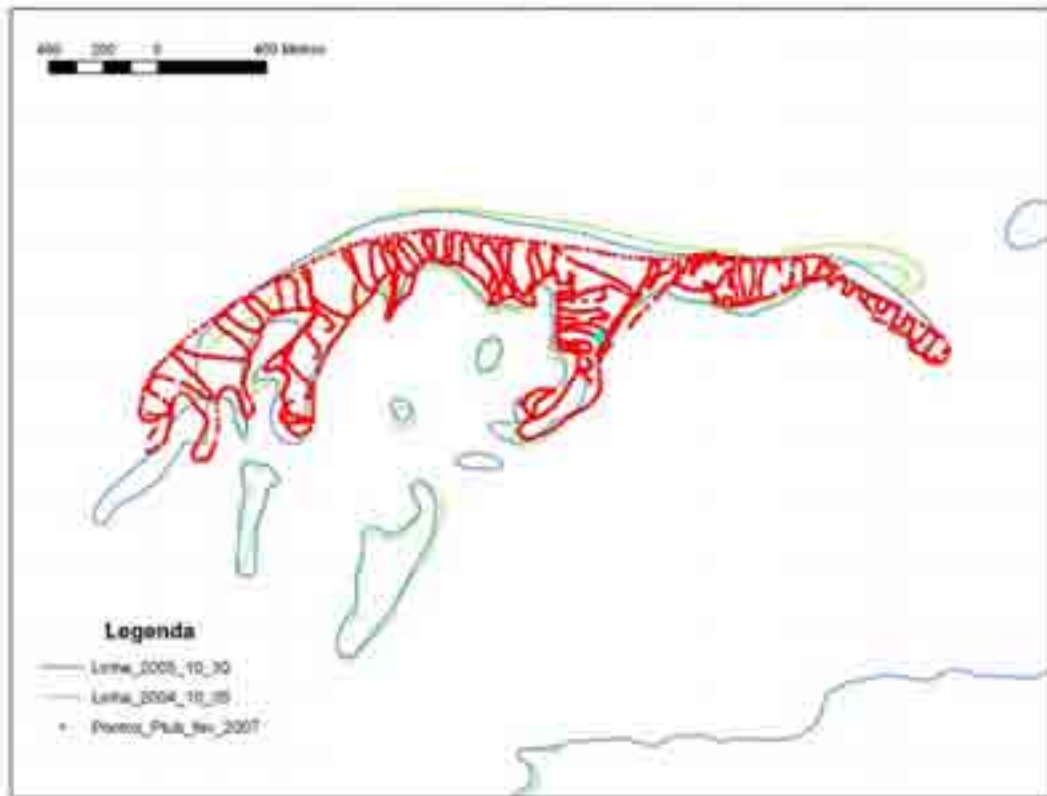


Figura 1.23 – Mapa com a distribuição dos pontos coletados ao longo da área levantada com o uso do DGPS.



Figura 1.24 – Modelo TIN gerado, sendo utilizado para identificar as áreas com carência de informação altimétrica.

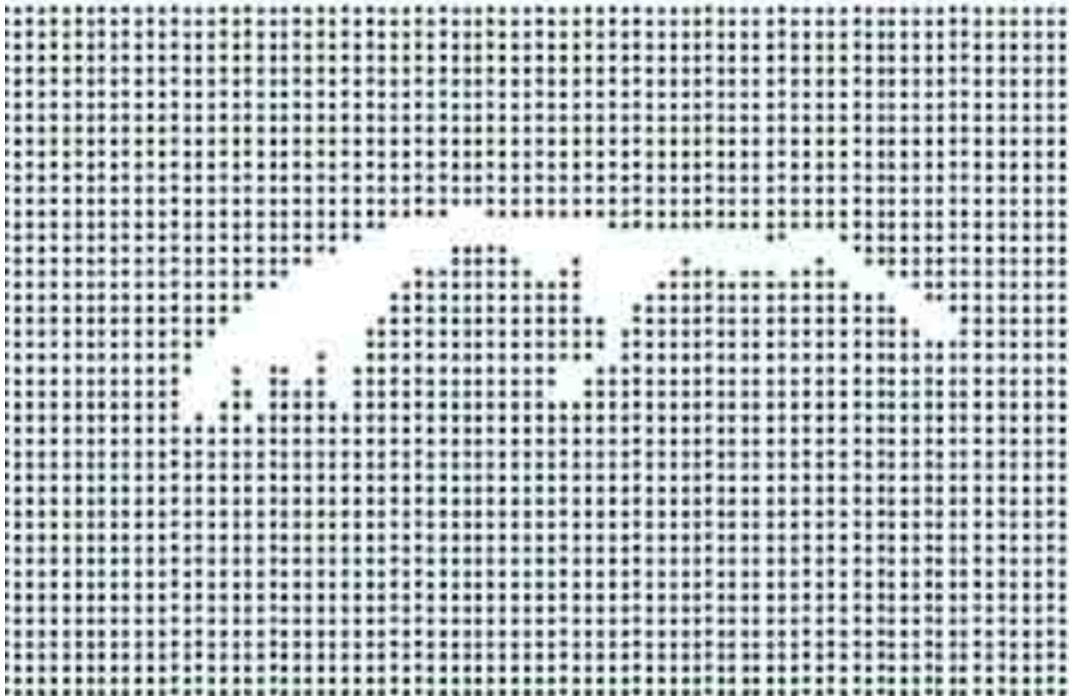
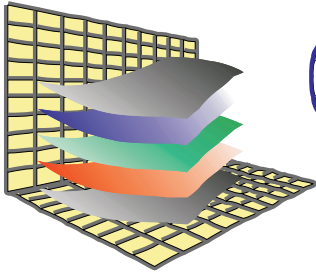


Figura 1.25 – Malha de pontos criados para complementar a informação do mar.

Os dados foram interpolados usando o *software* Target[®] for ArcGIS v3.1 pelo método de Mínima Curvatura, que gera uma superfície suavizada do modelo de terreno. Esta representação é próxima do real, possibilitando uma maior fidelidade da informação digital com do mundo real. Depois de gerado o MDT, foi calculado o volume dos terrenos para cada data adquirida e em seguida os MDT foram intersectados usando o *software* Target for ArcGIS[®], onde os volumes foram recalculados para erosão e para acreção. Os cruzamentos entre os MDT foram geradas em seções que possibilitassem realce para a análise visual das áreas que apresentarem maiores modificações.



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II:
**CENÁRIOS DO LITORAL DO RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE
BRASILEIRO, COM A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR**

CENÁRIOS DO LITORAL DO RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE BRASILEIRO, COM A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

MICHAEL VANDESTEEM SILVA SOUTO
DALTON ROSEMBERG VALENTIM DA SILVA
VENERANDO EUSTÁQUIO AMARO

RESUMO

A erosão em regiões costeiras devido a elevação do nível médio do mar vem se intensificando nos últimos anos e causando preocupação para governos de todo o mundo. Estudos científicos que comprovem e quantifiquem esta elevação num período de até 100 anos possibilitam a projeção das áreas de terra seca que serão alagadas. O litoral sententrional do Estado do Rio Grande do Norte é caracterizado pelas fortes mudanças costeiras que ocorrem em curtos períodos dentro de um mesmo ano e que vem prejudicando tanto a população local como as atividades socioeconômicas nestas regiões. Logo, foi realizado para toda costa do Estado do Rio Grande do Norte um modelo estático de elevação do nível do mar para diversos cenários futuros propostos no meio científico (1 a 6 m). A criação destes cenários possibilita destacar áreas de risco quanto à inundação.

PALAVRAS-CHAVE: cenário, elevação do nível do mar, mudanças costeiras.

ABSTRACT:

The erosion in coastal areas due to rising sea level has been rising in recent years, causing concern for governments around the world. Scientific studies that prove and quantify this high in a period of 100 years to enable the projection of the areas of dry land that will be flooded. The coast of northern of Rio Grande do Norte State is characterized by severe coastal changes that occur over short periods within a year and is hindering both the local population and socioeconomic activities in these regions. So it was done for the whole coast of Rio Grande do Norte State a static model of high sea level for various future scenarios proposed in the scientific (1 to 6 m). The creation of these scenarios to highlight possible areas of risk for flooding.

KEY-WORDS: scene, sea level rise, coastal changes.

INTRODUÇÃO:

O risco da elevação do nível médio do mar para populações de áreas costeiras tem sido atualmente muito discutido pelas comunidades mundiais de pesquisa e governamental. Estudos sobre o assunto apontaram que a elevação do nível do mar foi

de 2 mm/ano nos últimos cem anos (IPCC, 2007). Muitos acreditam que essa elevação é atribuída ao aquecimento global, devido ao efeito estufa, que proporciona o degelo das calotas glaciais dos pólos terrestre (TITUS & RICHMAN, 2001; GORNITZ, 2007; IPCC, 2007; entre outros). MICHAELS (2006) mostrou que a perda de massa do Ártico chega a ser 9,6% por década no monitoramento realizado pela NASA para região do Ártico (Figura 1).

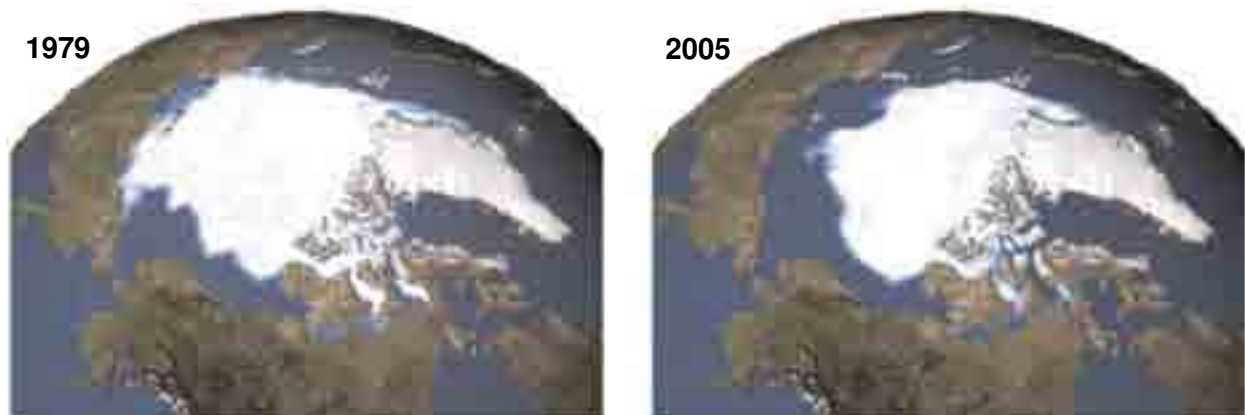


Figura 1 – Imagens de satélite em falsacor geradas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), comparando o mar de gelo do Ártico em 1979 e 2005.

De acordo com os dados apresentados pela IPCC (2007), em 2100 a elevação do nível do mar, numa média global, será entre 18 a 59 cm, dependendo do cenário de emissão de gases na atmosfera. Entretanto, segundo RIGNOT & KANAGARATAM (2006), apontaram uma elevação mais catastrófica por meio dos dados obtidos a partir do monitoramento da massa das calotas de gelo desde 2003. Baseado nesta informação ROWLEY *et al.* (2007) calcularam que o nível do mar pode variar de 1 a 6 m em cada área costeira do mundo para os próximos 100 anos e criaram 6 cenários de inundação para alguns locais no globo terrestre.

O Estado do Rio Grande do Norte tem um dos maiores litorais brasileiro em extensão (aproximadamente 380 km) e possui um crescimento populacional considerável ao longo de sua costa, principalmente puxado pelos empreendimentos turísticos e hoteleiros. Também estão concentradas na região costeira suas principais atividades socioeconômicas, como por exemplo, a indústria salineira, a carcinicultura e a indústria petrolífera. Estudos desenvolvidos para o monitoramento de regiões litorâneas no Estado do Rio Grande do Norte (e.g. ALVES *et al.*, 2002; TABOSA *et al.*, 2001; SOUTO, 2004; VITAL *et al.*, 2006; SOUTO *et al.*, 2006; CHAVES *et al.*, 2006)

mostraram que a erosão costeira vem se intensificando ao longo dos últimos anos, principalmente no litoral setentrional do Estado, onde o avanço do mar já atingiu algumas cidades situadas no litoral e colocando em risco outras cidades e povoados nesta região.

Com o objetivo de se ter uma noção das áreas inundadas pela elevação do nível do mar ao longo de toda costa do litoral do Estado do Rio Grande do Norte, foram elaborados 6 cenários, levando-se em consideração o modelo desenvolvido por ROWLEY *et al.* (2007), a partir da utilização dos produtos **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)** para criação desses cenários.

MÉTODO E PROCEDIMENTOS:

A metodologia adotada neste trabalho busca utilizar produtos de radar imageador para representar 6 cenários do litoral do Estado do Rio Grande do Norte, levando-se em consideração elevação do nível do mar. PARADELLA *et al.* (2005) define os radares imageadores como sendo sensores de rádio-freqüência que permitem derivar informações sobre características físicas (geometria, forma e elevação) e elétricas dos alvos.

O produto radar imageador utilizado neste trabalho foi a partir do conjunto de imagens SRTM disponibilizada via internet pela NASA. Segundo RABUS *et al.* (2005), SRTM é um projeto da NASA em conjunto com o Centro Espacial Alemão (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI), que teve como objetivo produzir dados topográficos digitais para 80% da superfície terrestre. Isto foi possível utilizando a interferometria do radar de abertura sintética, ou seja, foram coletadas duas imagens em locais ligeiramente diferentes e os padrões de interferência criados pela combinação dos dois sinais de radar permitem a identificação de mudanças na topografia.

A aquisição destas imagens foi feita por duas antenas durante os primeiros 11 dias do mês de fevereiro de 2000, a principal, localizada no ônibus espacial e uma outra na extremidade de um mastro de 60 m. Quando a radiação microonda transmitida pela antena principal atingia a superfície terrestre os raios se dispersavam e eram captados pelas duas antenas simultaneamente. Esta missão gerou imagens com 30 e 90 m de resolução espacial, sendo que estas últimas estão atualmente, de acordo com o

sistema de classificação de Ponto/Órbita do programa Landsat, disponíveis para aquisição pela *internet* (GLCF, 2007), permitindo o livre processamento por parte de pesquisadores em todo o mundo. Os produtos gerados com o processamento destas imagens podem ser integrados com informações ópticas, garantindo uma melhor análise e interpretação do comportamento morfológico e da influência dos elementos geomorfológicos no ambiente costeiro (e.g. VITAL, 2005; VALENTIM DA SILVA *et al.*, 2007; VITAL, 2009).

O processamento digital aplicado nas imagens consistiu na aquisição das imagens SRTM no acervo de imagens da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), que por meio do projeto Brasil em Relevo efetuaram um trabalho de correção e padronização a partir dos dados SRTM, eliminando falhas e distorções dos mesmos a fim de disponibilizar informações sobre o relevo do território brasileiro. Essas imagens foram pré-processadas, com a conversão do *Datum* de WGS-84 para SAD-1969 e mosaicadas a partir do georreferenciamento corrigido, podem ser adquiridas gratuitamente através do site <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>, onde os mesmos encontram-se recortados em mosaicos estaduais com articulação de folhas em escala 1:250.000 compatíveis com as folhas 1:250.000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

No processamento das imagens SRTM foram corrigidos os ruídos inerentes a informação de corpos d'água, que consistem em valores de cotas negativas, conforme metodologia utilizada por Valentim da Silva *et al.* (2007), que elimina esses valores negativos contidos nas imagens SRTM por meio do *software* ENVI[®]. O mascaramento desses ruídos localizados na área oceânica foi realizado utilizando o *shapefile* da linha de costa para o ano de 2000 (polígono), mesmo ano dos dados SRTM, o que possibilitou a visualização somente da informação emersa do terreno continental.

O desenvolvimento dos seis cenários foi em ambiente SIG, por meio do *software* ArcGIS[®], na qual representam o comportamento da paisagem em função da elevação do nível do mar a partir da reclassificação dos valores topográficos extraídos do mosaico de imagens SRTM, de acordo com a cota de elevação (1, 2, 3, 4, 5 e 6 m) (Figura 2). Com a obtenção desta informação das áreas inundadas, a imagem mosaicada foi classificada, e por meio dessa classificação foram gerados os *shapefiles* para o cálculo das áreas inundadas.

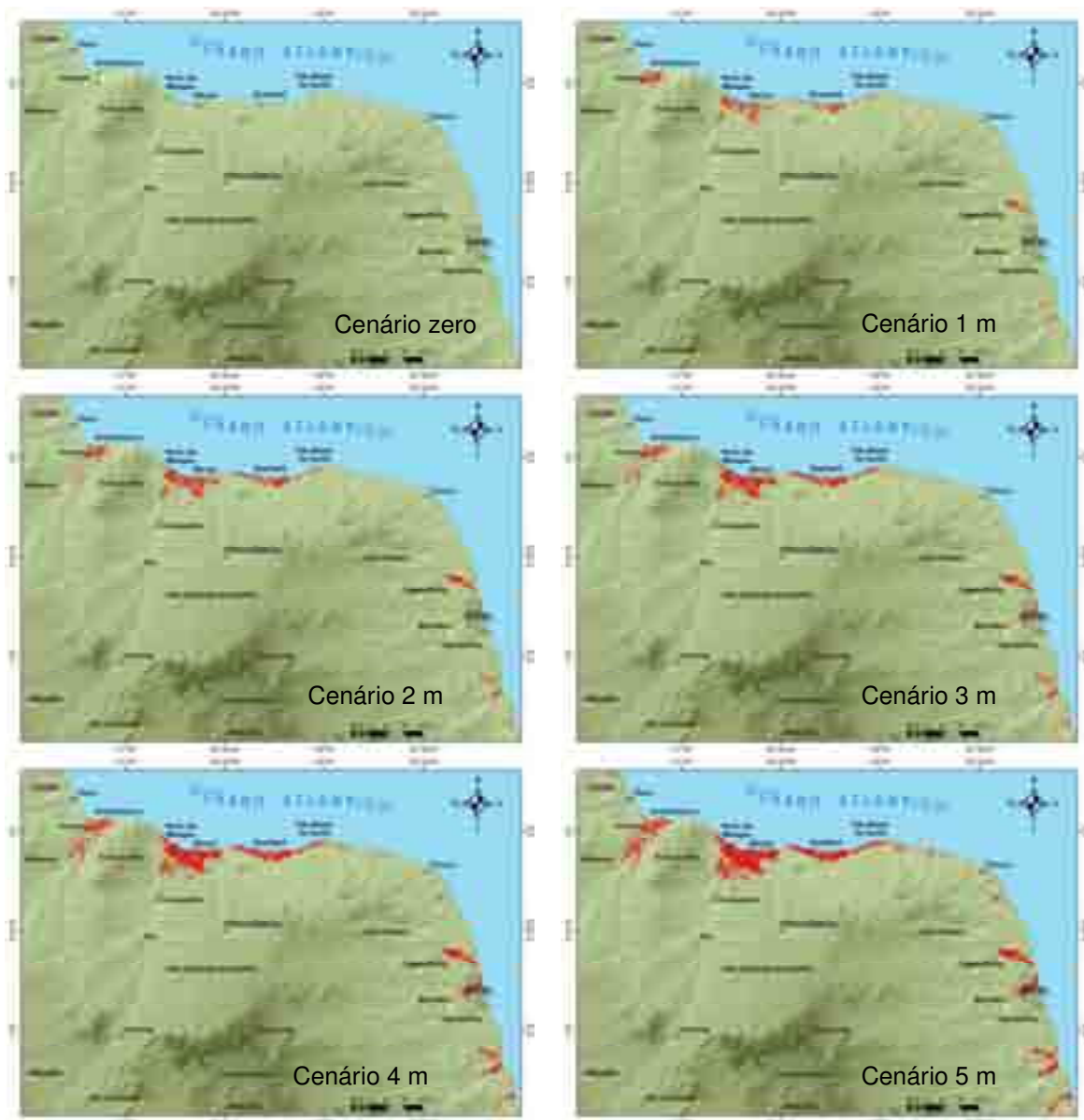


Figura 2 – Cenários criados a partir das imagens SRTM, onde as áreas de inundação estão representadas pela cor em vermelho, quanto a elevação do nível do mar desde o cenário considerado momento zero (fevereiro de 2000) e outros cenários para cada metro de elevação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os 6 cenários gerados mostram o modelo de terreno estático, levando apenas em consideração a elevação do nível do mar (Figura 3), aumentando a cada metro como no modelo criado por ROWLEY *et al.* (2007) para algumas regiões costeiras da Terra. Isso permite identificar as áreas susceptíveis à inundação de acordo com a elevação do nível do mar.



Figura 3 – Ilustração da metodologia aplicada para criação dos cenários futuros com a elevação do nível do mar.

A partir deste levantamento calculou-se a quantidade de áreas atingidas (em km² e em %) comparando a proporção para área total do Estado do Rio Grande do Norte (representação em Área RN) e para área total dos municípios costeiros (representação em Área Costa), como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 – Mostra os valores em km² e em % das áreas susceptíveis a inundação.

Cálculo das Áreas Susceptíveis a Inundação			
Cenário	Área (km ²)	Área RN (%)	Área Costa (%)
1 m	280,77	0,53	4,25
2 m	409,69	0,77	6,21
3 m	570,51	1,07	8,65
4 m	742,19	1,40	11,25
5 m	925,58	1,74	14,03
6 m	1125,27	2,12	17,05
RN	53133,68	100,00	–
Costa	6598,78	–	100,00

Os municípios mais atingidos pela elevação do nível do mar para o cenário de 1 m (Figura 2) são: Grossos, Areia Branca, Porto do Mangue, Macau, Guamaré, Galinhos, Caiçara do Norte e São Bento do Norte para o litoral setentrional; já para o litoral oriental: Ceará-Mirim, Extremoz, Natal, Nísia Floresta, Senador Georgino Avelino, Ares e Tibal do Sul.

Para o segundo cenário (2 m) todos os municípios atingidos no primeiro cenário são fortemente afetados pela elevação do nível do mar (Figura 2), adicionando-se também o Município de Mossoró, no litoral setentrional e os municípios de Baía Formosa e Canguaretama para o litoral oriental.

No terceiro cenário (3 m) outro município do litoral oriental é atingido, o Município de São Gonçalo do Amarante, e no litoral setentrional os municípios de Carnaubais e Touros (Figura 2). Nos outros municípios citados, nos cenários anteriores as áreas de inundação vão se ampliando cada vez mais. Adiciona-se mais dois municípios afetados pela elevação do nível do mar no quarto cenário (4 m), Pendências (litoral setentrional) e Rio do Fogo (litoral oriental).

Os dois últimos cenários (5 e 6 m) é mantido o número de municípios afetados pela elevação do nível do mar, que chega a um total de 23 municípios, 12 municípios para o litoral setentrional e 11 municípios para o litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte.

O cenário mais catastrófico, que seria para 6 m, no litoral setentrional os municípios de Macau e Porto do Mangue perderiam quase 50% de sua área emersa e os municípios de Guimarães, Galinhos e Areia Branca poderiam perder cerca de 20% de sua área emersa (Figura 4). As sedes desses municípios tenderiam a ficar em regiões submersas por completo. A cidade de Mossoró, que é cortada pelo rio Apodi-Mossoró, poderia ser afetada pela influência das marés. No litoral oriental, as regiões mais baixas, onde estão instalados os rios e estuários, seriam inundados, como a parte mais antiga da cidade de Natal, capital do Estado e comprometeria toda agricultura instalada no vale do rio Ceará-Mirim (Figura 4).

Comparando-se o tamanho das áreas inundadas, o litoral setentrional seria o mais afetado pela elevação do nível do mar, apesar do número de municípios atingidos pela inundação ser equiparado com do litoral oriental do Estado. Isso se deve pela diferente configuração da geomorfologia costeira entre esses dois litorais.

O litoral oriental possui cerca de 166 km de extensão, o que corresponde a 41% da costa total do Estado do Rio Grande do Norte, configurado por estruturas de *horts* e *grabens*, além de uma plataforma continental de curta extensão. Este tipo de configuração costeira proporciona um litoral mais protegido, onde 65 km (ou 39%) da costa é composta por praias com falésias (Figura 5) e 101 km (ou 61%) por praias arenosas com grandes campos de dunas e por vezes associadas com arenitos praias (*beachrocks*) (Figura 5).



Figura 4 – Cenário de 6 m de elevação do nível do mar, criado a partir das imagens SRTM, onde as áreas de inundação estão representadas pela cor em vermelho e as linhas em preto delimitando os municípios do Estado do Rio Grande do Norte.



Figura 5 – Fotos do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte mostrando a configuração da geomorfologia costeira que é composta por praia com e sem falésias, por vezes protegidas por *beachrocks*. (Fotos: Vital).

O litoral setentrional possui uma extensão cerca de 244 km (ou 59% da costa total do Estado do Rio Grande do Norte) e possui uma estruturação mais complexa do que a do litoral oriental, pois nela está situada a Bacia Potiguar, que abrange tanto uma grande área emersa como também uma submersa, representada pela plataforma continental de grande extensão (aproximadamente 25 km). Geomorfologicamente é composta em grande parte por extensas praias arenosas (Figura 6), cerca de 194 km da costa (ou 80%). Onde estão situadas a foz dos maiores rios que cortam o Estado (Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró), a costa é composta por praias lamosas (Figura 6), com apenas cerca de 10 km de extensão (ou 4%). E cerca de 40 km (ou 16%) do litoral é composto por falésias (Figura 6). Este tipo de configuração geomorfológica não proporciona um litoral protegido, o que é corroborado pelos registros geológicos que comprovam eventos posteriores de elevação e descida do nível do mar nesta bacia sedimentar pelas regressões e transgressões marinhas.



Figura 6 – Fotos do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte mostrando a configuração da geomorfologia costeira que é composta por praias lamosas e arenosas, por vezes constituídas de pequenas falésias. (Fotos: Vital).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os seis cenários gerados com esta metodologia mostraram gradualmente as áreas continentais mais susceptíveis à inundação causada pela elevação do nível do mar. A inundação destas áreas costeiras gera mudanças catastróficas do ponto de vista socioeconômico. Uma vez que o litoral é intensamente ocupado pela população local e pelas atividades industriais de carcinicultura, agricultura, salinas, exploração petrolífera e turismo.

Tabela 2 – Populações Estimadas para 2006 pelo IBGE, referidos para os municípios atingidos pela elevação do nível do mar no Cenário de 6 m.

MUNICÍPIOS	POP-2006
Areia Branca	23.501
Arês	11.458
Baía Formosa	8.263
Caiçara do Norte	5.898
Canguaretama	30.035
Caraúbas	17.747
Ceará-Mirim	70.012
Extremoz	22.995
Galinhos	2.138
Goianinha	17.783
Grossos	8.961
Guamaré	9.677
Macaíba	63.333
Macau	25.489
Mossoró	229.787
Natal	789.896
Nísia Floresta	22.814
Pedra Grande	4.407
Pendências	11.657
Porto do Mangue	4.909
Rio do Fogo	10.447
São Bento do Norte	3.527
São Gonçalo do Amarante	87.493
São Miguel do Gostoso	8.878
Senador Georgino Avelino	3.774
Tibau	4.067
Tibau do Sul	9.068
Touros	32.801
Total	1.540.815

O cenário de 6 m mostra que 28 sedes municipais (Tabela 2), incluindo a capital estadual ficariam parcialmente ou totalmente submersas se o nível do mar subir seis metros. Observa-se que na capital estadual (Natal) a área inundada pelo mar consiste nas adjacências do Rio Potengi, uma área intensamente habitada. A porção setentrional do Estado é a mais atingida, sendo que os vales dos rios Apodi-Mossoró e Assu-Piranhas seriam totalmente submersos. O Pólo Industrial da indústria petrolífera em Guamaré também ficará submerso.

As populações estimadas destes municípios estão apresentadas na Tabela 2, estimativa realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para o ano de 2006, porém espera-se que estas populações aumentem nos próximos anos devido a expansão imobiliária nas áreas costeiras, intensificada pelo turismo que gera construção de hotéis e áreas residenciais. Mesmo sem levar em consideração o aumento da população num futuro próximo, ou seja, considerando as populações estimadas para 2006, seriam 1.540.815 pessoas à serem removidas de suas localidades para locais seguros. Este procedimento requer investimentos altíssimos por parte dos órgãos governamentais, não só consistiria na remoção da população mas também na garantia de condições dignas de sobrevivência nas novas localidades para onde seriam deslocadas.

Os danos causados pela elevação do nível do mar no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte poderiam ser minimizados com o investimento em obras de proteção costeira e no planejamento de medidas de prevenção, como o planejamento de novas construções habitacionais em regiões mais elevadas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A.L.; AMARO, V.E.; VITAL, H. 2002. Application of Remote Sensing for Monitoring and Evaluation of Coastal Morphodynamic on the Northeastern Coast of Brazil: The Açú River Mouth Example. *Journal of Coastal Research*. Special Issue: Brazilian sandy beaches n. 35
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2008. Download de imagens SRTM. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2008.

- GLCF, 2007. Website da Global Land Cover Facility – GLCF, disponível em <<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>>.
- GORNITZ, V., 2007. Sea Level Rise, After the Ice Melted and Today. Science Briefs, NASA. Disponível em <<http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/>>.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, disponível em <<http://www.ipcc.ch/>>.
- MATOS, A.C.O.C., 2005. Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Tese de Doutorado. São Paulo, 355p.
- MICHAELS, P.J., 2006. Is the Sky Really Falling? A Review of Recent Global Warming Scare Stories. Policy Analysis no. 576, August 23, Cato Studies.
- PARADELLA, W.R.; SANTOS, A.R.; VENEZLANT, P.; CUNHA, E.S.P., 2005. Radares imageadores nas geociências: Estado da arte e perspectivas. Revista Brasileira de Cartografia nº 57/01, 2005. (ISSN 1808-0936). Pg. 56 – 62.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R., 2005. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 57 (2003) 241–262.
- ROWLEY, R.J.; KOSTELNICK, J.C.; BRAATEN, D.; LI, X.; MEISEL, J., 2007. Risk of Rising Sea Level to Population and Land Area. Eos Transactions 88, no. 9 (27 February 2007): 105-107p.
- SOUTO, M.V.S., 2004. Análise multitemporal dos elementos geoambientais da Planície estuarina de Região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, Município de Macau, RN. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 114p.
- SOUTO, M.V.S.; GRIGIO, A.M. ; CASTRO, A.F. ; AMARO, V.E., 2006. Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. Journal of Coastal Research, Special Issue (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC - Brazil), Estados Unidos, v. 39, p. 1618-1621.

TABOSA, W. F.; VITAL, H.; AMARO, V. E. 2001. Control of the Coastal Setting in the São Bento do Norte and Caiçara do Norte Beach-NE/Brazil. In: *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2):383-392.

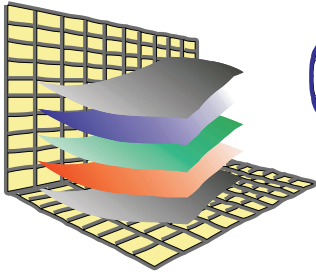
TITUS, J.G.; RICHMAN, C., 2001. Maps of Lands Vulnerable to Sea Level Rise: Modeled Elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts. - *Climate Research*, CR 18:205-228.

VALENTIM DA SILVA, D.R.; AMARO, V.E.; SOUZA, D.S.; SOUZA, A.S.; MELO, B.S.; SOUTO, M.V.S.; PEREIRA, B.R.B., 2007. Integração de produtos de sensores ativos e passivos aplicada ao monitoramento ambiental no litoral do Rio Grande do Norte. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis-SC. Abril de 2007.

VITAL, H., 2005. Erosão e progradação do litoral do Rio Grande do Norte. In: Muehe, D.. (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente., 2005, v. , p. 159-176.

VITAL, H.; AMARO, V.E.; SILVEIRA, I.M., 2006. Coastal erosion on the Rio Grande do Norte State (Northeastern Brazil): Causes and factors versus effects and associated processes. *Journal of Coastal Research*. Special Issue, 39: 1307-1310.

VITAL, H., 2009. The mesotidal barriers of Rio Grande do Norte. In: Dillemburg, S.; Hesp, P.. (Org.). *Geology of Brazilian Holocene Coastal Barriers*. Springer-Verlag.. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, v. , p. 289-324.



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III:
**EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL SETENTRIONAL DO
ESTADO DO RN, ÁREA DE EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA DA
BACIA POTIGUAR, COM BASE NA INTERPRETAÇÃO DE
PRODUTOS MULTITEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

III.1 - INTRODUÇÃO

O litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte possui uma peculiaridade que se destaca dos demais litorais brasileiro, a formação de esporões arenosos e de ilhas barreiras ao longo de sua costa, que se segue somente entre os municípios de Porto do Mangue e São Bento do Norte.

Outra característica desta região é que está submetida a constantes processos hidrodinâmicos e eólicos, o que ocasiona a instabilidade na morfologia costeira em grande parte da área em questão, onde existe a interferência de atividades antrópicas, destacando-se o Pólo Industrial Petrolífero de Guamaré, pertencente a PETROBRAS, a indústria salineira e a carcinicultura, que correspondem às principais atividades socioeconômica do Estado. Essa instabilidade na morfologia costeira gera constantes modificações ao longo da linha de costa, o que ocorre em curtos períodos de tempo.

O primeiro trabalho relatando as modificações neste litoral foi realizado por Bagnoli (1988), que utilizando de fotografias aéreas pôde observar as mudanças na linha de costa somente para a ilha barreira da Ponta do Tubarão. Salim & Bandeira (1990, 1999) realizaram alguns trabalhos de monitoramento para a região da praia do Minhoto, por onde passam a pista de dutos e os emissários da PETROBRAS, que interliga o Pólo Petrolífero de Guamaré com as plataformas de exploração em alto-mar.

Alves (2001) ampliou a área de observação e mapeou as áreas de erosão e acreção usando imagens de sensores remotos orbitais. A partir do trabalho de Souto (2002) essas áreas de erosão e acreção, embora restritos a região da Ponta do Tubarão,

foram espacialmente estimadas, possibilitando quantificar a taxa de erosão e acreção anual para um período de 15 anos monitorados conforme a disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto.

No acompanhamento destas modificações ao longo do tempo, o uso de imagens multitemporais de sensores remotos orbitais possibilita o monitoramento da morfodinâmica costeira a partir da análise comparativa das linhas de costa georreferenciadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que permite determinar os trechos litorâneos mais atingidos pela erosão, com perda significativa de área, além daqueles com maior susceptibilidade à ofensiva dos processos costeiros atuantes na região.

A temporalidade é conceituada gramaticalmente como “a qualidade provisória de um ser ou objeto”. Assim sendo, a análise multitemporal pode ser definida como o acompanhamento da evolução de um ou mais objetos em diversos períodos de tempo distintos. Para a área em questão, o objeto de estudo foi a linha de costa devido às intensas mudanças ocasionadas pelos processos hidrodinâmicos na região.

Na análise multitemporal da região monitorada foram utilizadas imagens orbitais digitais, imageadas em datas distintas, que permitissem a diferenciação entre os corpos d’água e as áreas emersas por meio de técnicas de realce no Processamento Digital de Imagens (PDI). Foram obtidas para área estudada imagens de quinze (15) datas distintas, sendo treze (13) datas com imageamento pelo Programa Landsat (1-MSS, 2-MSS, 3-MSS, 5-TM e 7-ETM+) e duas (2) datas pelo Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resource Satellite*, sensor CCD) contidas no acervo do Laboratório de Geoprocessamento/PPGG/UFRN e no catálogo *online* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>) para *download* gratuito.

Este procedimento permitiu o reconhecimento da linha de costa em mais de três (3) décadas monitoradas pelas imagens, com diferentes lapsos de tempo, onde os intervalos de tempo variaram de menos de um (1) ano até nove (9) anos.

III.2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Das imagens da série Landsat foram utilizadas na análise multitemporal os sensores MSS (*Multispectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*) e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e da série CBERS 2 foram utilizadas os sensores CCD (Câmara Imageadora de Alta Resolução) que possibilitaram o levantamento histórico das linhas de costa do litoral setentrional potiguar (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Acervo de imagens orbitais utilizadas no levantamento da linha de costa.

Data	Plataforma	Sensor	Resolução
26/07/1973	Landsat	1-MSS	80 m
17/05/1976	Landsat	1-MSS	80 m
19/08/1977	Landsat	2-MSS	80 m
25/05/1978	Landsat	2-MSS	80 m
03/09/1981	Landsat	3-MSS	80 m
02/08/1989	Landsat	5-TM	30 m
28/09/1998	Landsat	5-TM	30 m
13/06/2000	Landsat	5-TM	30 m
26/07/2001	Landsat	5-TM	30 m
06/11/2002	Landsat	5-TM	30 m
29/05/2003	Landsat	5-TM	30 m
05/10/2004	CBERS	2-CCD	20 m
30/10/2005	CBERS	2-CCD	20 m
03/10/2006	CBERS	2-CCD	20 m
03/04/2007	CBERS	2-CCD	20 m

Integração de Imagens Orbitais e GPS Geodésico Pós-Processado

As imagens foram submetidas a um pré-processamento, com correções geométricas e georreferenciamento das mesmas a partir de pontos de controle (GCP, Ground Control Points) com a obtenção das coordenadas (X,Y) por meio do sistema de posicionamento global (GPS, *Global Positioning System*) do tipo geodésico pelo receptor L1/L2 Hiper Lite Plus da Topcon, que permitiu uma maior precisão dos pontos coletados com erro da medição das coordenadas tanto na vertical como na horizontal de até 1 cm pela correção via Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) pela técnica de pós-processamento dos dados. Os dados RBMC estão disponíveis para *download* no *site*

do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>), onde estão disponíveis estações de coleta distribuídas ao longo de todo país. Estes GCP foram escolhidos a partir de cruzamentos e bifurcações de estradas que fossem possíveis de serem reconhecidas em quase todas as imagens utilizadas no monitoramento da linha de costa.

Depois de pré-processadas as imagens passaram por um tratamento que realçasse a diferenciação de massas d'água de áreas emersas, permitindo assim o mapeamento da linha de costa, em técnicas de PDI. As bandas espectrais foram combinadas em sistema de cores RGB (*Red-Green-Blue*) e submetidas aos realces no histograma. A combinação entre bandas utilizada foi a R7-G4-B2 para as imagens Landsat dos sensores 5-TM e 7-ETM+ e R6-G7-B4 para o sensor MSS, já as imagens CBERS dos sensores CCD foram combinadas em R3-G4-B2 (Figura 3.1).

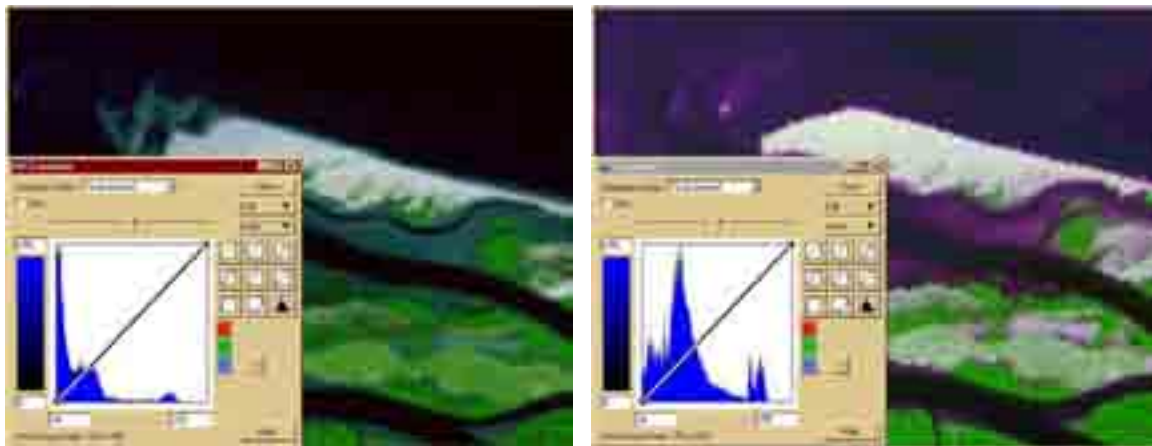


Figura 3.1 – Composições coloridas no sistema de cores RGB (Red-Green-Blue) R7-G4-B2 para as imagens Landsat (5-TM e 7-ETM+) e R3-G4-B2 para CBERS, com seus respectivos histogramas representados na cor azul.

A banda espectral no infravermelho próximo da faixa do espectro eletromagnético (EEM) de 0,70 a 0,90 μm (representado pela banda 4 nos sensores Landsat TM e ETM+, pela banda 6 nos sensores Landsat MSS e pela banda 4 nos sensores CBERS CCD) é propícia para o delineamento de corpos d'água, o que se pode utilizar em quase todas as imagens tratadas. Na faixa de 0,80 a 2,35 μm do EEM, que em todos os sensores Landsat utilizados é representado pela banda 7 na faixa do infravermelho distal, reforçou a diferenciação na análise de superfície das massas d'água com as áreas emersas, como também destacou a vegetação da superfície. As bandas espectrais da faixa do visível do

EEM (0,60 a 0,70 μm) também foram utilizadas como incremento na identificação das unidades de superfície, por vezes destacando as áreas úmidas emersas e as áreas submersas rasas, permitindo diferenciar o substrato lamoso e arenoso.

Para estas imagens os contrastes utilizados no histograma foram usados no cálculo linear por meio do *software* ER-Mapper[®] v7.0, onde a alta absorção destaca com cores escuras (preto azulado) as áreas submersas, enquanto a alta reflectância permite a visualização das áreas emersas com cores claras entre o branco, amarelo e verde em diferentes tons (Figura 3.1).

A metodologia de integração dos dados multitemporais em ambiente SIG vem sendo aperfeiçoado pela equipe técnica do GEOPRO, onde o avanço das ferramentas do *software* ArcGIS[®] v9.2 possibilitaram o cruzamento entre datas da linha de costa de forma eficiente na execução e visualização.

Após processadas, as imagens foram inseridas no ambiente SIG por meio do *software* ArcGIS[®] v 9.2 para vetorização da linha de costa (limite água-área emersa). A linha foi traçada no limite das cores escuras (áreas submersas) para as cores mais claras (áreas emersas), que correspondem o limite marcado pelas áreas úmidas e secas identificadas em campo (Figura 3.2).

Esse limite foi adotado como padrão em todas as imagens utilizadas no monitoramento da linha de costa, definido a partir dos levantamentos de campo realizado em vários períodos, foi possível observar que as áreas úmidas se mantêm molhadas mesmo nas marés mais baixas visitadas. As linhas foram separadas em camadas (ou *layers*) para cada data distinta, possibilitando numa fase posterior a intersecção entre as mesmas pela ferramenta *Spacial Analyst*. A partir dessas intersecções puderam-se analisar as mudanças ocorridas para cada intervalo de tempo (interanuais e interdecadais), com a caracterização das áreas de erosão, acresção (ou deposição) e aquelas que não sofreram modificação.

A análise foi feita de forma qualitativa, tendo em vista à resolução espacial das imagens utilizadas é moderada, impossibilitando uma maior precisão das informações levantadas pelas imagens, sendo que também a amplitude de maré seja desconsiderada

pelo limite da resolução espacial. A validação deste método vem sendo realizada com os dados de perfis levantados na região pelo Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (GGEMMA) desde 2000. Os resultados obtidos na análise da evolução morfodinâmica costeira foram satisfatórios e condizem com o contexto interpretado na região (e.g. Santos Neto, 2007; Plácido Júnior, 2008; Vital *et al.*, 2008).



Figura 3.2 – Fotografia em campo mostrando o limite (seco/úmido) utilizado como referência no levantamento da linha de costa extraída nas imagens orbitais.

Taxa de Erosão e Acresção

Para interpretação dos dados multitemporais foram criadas planilhas para cálculo da taxa de erosão e de acresção em m^2/ano , a partir do somatório feito das áreas de erosão (E) e das áreas de acresção (A), dividindo os valores pelo intervalo de tempo aproximado (ano). Tomando como base estas informações foi calculada a razão da acresção pela erosão (A / E), onde o resultado obtido indicou o estado do balanço sedimentar nas áreas monitoradas no período de 34 anos analisados. Para tal foi criada uma classificação que pudesse facilitar a interpretação dos dados, que indica os estados de deposição intensa (DI), deposição (DP), equilíbrio (EQ), erosão (ER) e erosão intensa (EI), ver Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classificação quanto a Taxa de Erosão, de acordo com o valor obtido na razão A/E.

Razão A/E	Classificação
> 2,00	Deposição Severa DI
1,10 - 2,00	Deposição DP
0,90 - 1,10	Equilíbrio EQ
0,70 - 0,90	Erosão ER
< 0,70	Erosão Severa EI

III.3 - ANÁLISES E INTERPRETAÇÕES

Toda a faixa costeira da porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte está sujeita a processos erosivos e progradacionais contínuos, influenciados por agentes hidrodinâmicos como as ondas, correntes ao largo da zona de arrebentação, marés e ventos, em intervalos de tempo variáveis. Esses processos são responsáveis pelas contínuas mudanças nesta linha de costa da ordem de quilômetros, para períodos de séculos – anos de 1872 a 2001 (Vital, 2002; Vital *et al.*, 2006), a centenas de metros em períodos de décadas ou dezenas de metros em um ano (Tabosa *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2002; Souto, 2002; Alves *et al.*, 2003; Grigio, 2003).

Pelo levantamento realizado com as imagens orbitais históricas e os cruzamentos feitos a partir delas, pôde-se avaliar várias áreas críticas ocasionadas tanto pelo efeito erosivo como pelo efeito deposicional, sendo o primeiro mais atuante que o segundo. A partir da comparação entre as duas datas de maior intervalo (34 anos), podemos destacar 5 áreas críticas para o trecho do litoral setentrional do Estado monitorado (Figura 3.3):

- 1) Área 1 → praia do Minhoto, região próxima da cidade de Guamaré;
- 2) Área 2 → barra do Fernandez, região próxima do vilarejo de Diogo Lopes;
- 3) Área 3 → ilha barreira da Ponta do Tubarão, região de Macau;
- 4) Área 4 → praia da Soledade, região próxima do vilarejo de Barreiras;
- 5) Área 5 → praia de Camapum, região próxima da cidade de Macau;
- 6) Área 6 → foz do rio das Conchas, região do município de Porto do Mangue.

Área 1

A praia do Minhoto localizada no Município do Guamaré/RN se destaca pela proximidade com o Pólo Petrolífero de Guamaré (Figura 3.3), que possui uma pista de dutos de emissários, gasodutos e oleodutos que interliga o Pólo Petrolífero com as plataformas de petróleo e o mar aberto, a cerca de 20 km de distância da costa, e passa por essa área monitorada. A pista de dutos é subterrânea e foi construída em 1977 pela PETROBRAS, sendo depois ampliado em vários períodos, de acordo com a descoberta dos campos petrolíferos. Quando os dutos foram instalados estavam soterrados a 2 m de profundidade e em vários momentos no decorrer dos anos esses dutos estão ora expostos pelo efeito erosivo, ora encobertos pela forte sedimentação arenosa.

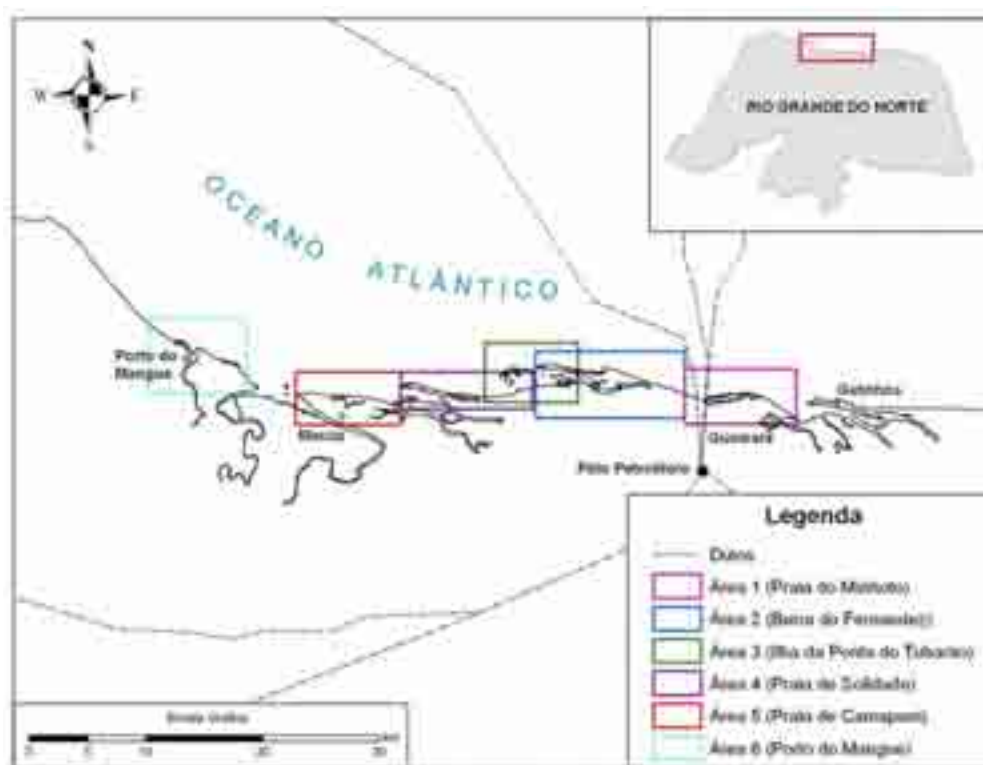


Figura 3.3 – Mapa de localização das áreas críticas identificadas no levantamento das linhas de costa.

Este fato decorre da morfodinâmica costeira, que proporciona um intenso transporte sedimentar pela deriva litorânea ao longo da costa monitorada. Estes tipos de situações geram risco elevado a ocorrência de acidente ambiental, na qual essa morfodinâmica ocasiona certa pressão nos dutos, que podem se romper a qualquer instante, resultando no derramamento de óleo ao longo da costa adjacente, tanto no

momento em que se encontra em exposição como também no momento que volta a ser encoberto pelos sedimentos arenosos.

Na primeira situação de risco ambiental, ou seja, quando o efeito erosivo expõe os dutos na superfície, o risco de acidente fica elevado pelo grau de exposição dos dutos, que ficam sujeitos a ação direta dos processos hidrodinâmicos, como a força das ondas e das correntes que geram pressão deslocando os dutos de acordo com o ângulo de incidência das ondas e/ou o sentido das correntes marinhas. Além do fato que a erosão chega a deixar o duto completamente suspenso no ar, fazendo com que o próprio peso do duto gere uma tensão que poderia ocasionar o rompimento do mesmo. A segunda situação de risco ambiental é ocasionada pela forte deposição do sedimento arenoso sobre os dutos, quando os mesmos se encontravam expostos anteriormente, ou seja, a força do sedimento depositado exerce grande tensão num só lado do duto, o que proporciona um risco eminente para o rompimento dos dutos. Até o próprio peso do sedimento, onde o duto não está mais acomodado adequadamente, e a fricção dele com o duto podem ocasionar no desgaste da estrutura de resistência do duto, suportando toda essa tensão.

Toda esta atividade está interligada com o esporão arenoso que se formou na parte Leste da área pesquisada, onde a sazonalidade deste evento de evolução do esporão arenoso, quando ele migra até atingir o continente ocorre com cerca de 20 anos de intervalo, no momento de fechamento-abertura-fechamento, que pelas imagens indicam que ocorreu por volta de 1989 e se repete agora no ano de 2009 (Figura 3.4). Esta sazonalidade nos momentos que o esporão arenoso migra até atingir a costa é peculiar para região pesquisada, pois só ocorre nesta porção analisada. Porém, isso se deve ao pequeno estuário formado na evolução por esse esporão arenoso não possuir competência suficiente para permitir que o canal de maré que o abastece manter a abertura do estuário.

Pela análise multitemporal da linha de costa para Área 1, no período da década de 70 (de 1976 a 1981), o balanço sedimentar foi positivo com estado de deposição em todos os anos comparados (Tabela 3.3), mas sempre próximo do estado de equilíbrio (Figura 3.5). Porém, na década de 80, o efeito erosivo intensifica (Tabela 3.3) na área pesquisada quando o esporão arenoso atinge a costa (Figura 3.6), fechando o estuário que

havia se formado. No entanto, não se obteve o exato momento em que o esporão arenoso atingiu a costa, que pode ter ocorrido entre 1987 e 1988.

Em parte da década de 90, o balanço sedimentar ficou em estado de equilíbrio (Tabela 3.3) e durante o período de 1989-1998 despontou um novo esporão arenoso a frente do anterior formado nas décadas de 60 e 70. Porém, no final da década de 90 (de 1998-2000) o balanço sedimentar mudou para estado erosivo intenso, que perdurou até o período de 2000-2001 (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Praia do Minhoto.

Década	70				80	90		2000							
	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	
Minhoto	Erosão (E)	0	286835	171902	345737	1141302	674871	296868	329651	147590	160197	291426	131118	198417	333336
	Acreção (A)	0	318809	218021	401952	389449	666070	202121	237462	265938	196502	155652	250007	185020	92145
	Razão A/E	N/D	1,11	1,27	1,16	0,34	0,99	0,68	0,72	1,80	1,23	0,53	1,91	0,93	0,28
	Classificação	N/D	DP	DP	DP	EI	EQ	EI	ER	DP	DP	EI	DP	EQ	EI

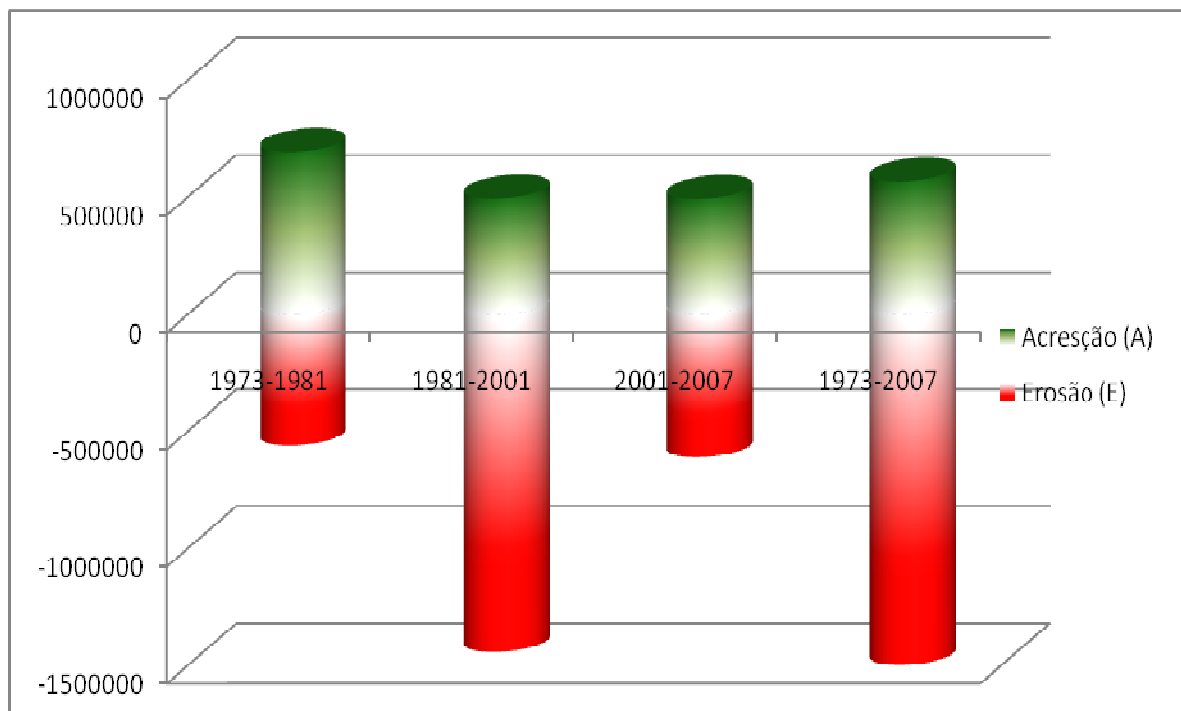


Figura 3.5 – Gráfico mostrando o balanço sedimentar para década de 70 (1973 a 1981), para década de 80 e 90 (1981 a 2001) e para década de 2000 (2001 a 2007). E o balanço sedimentar para os 34 anos monitorados (1973 a 2007).

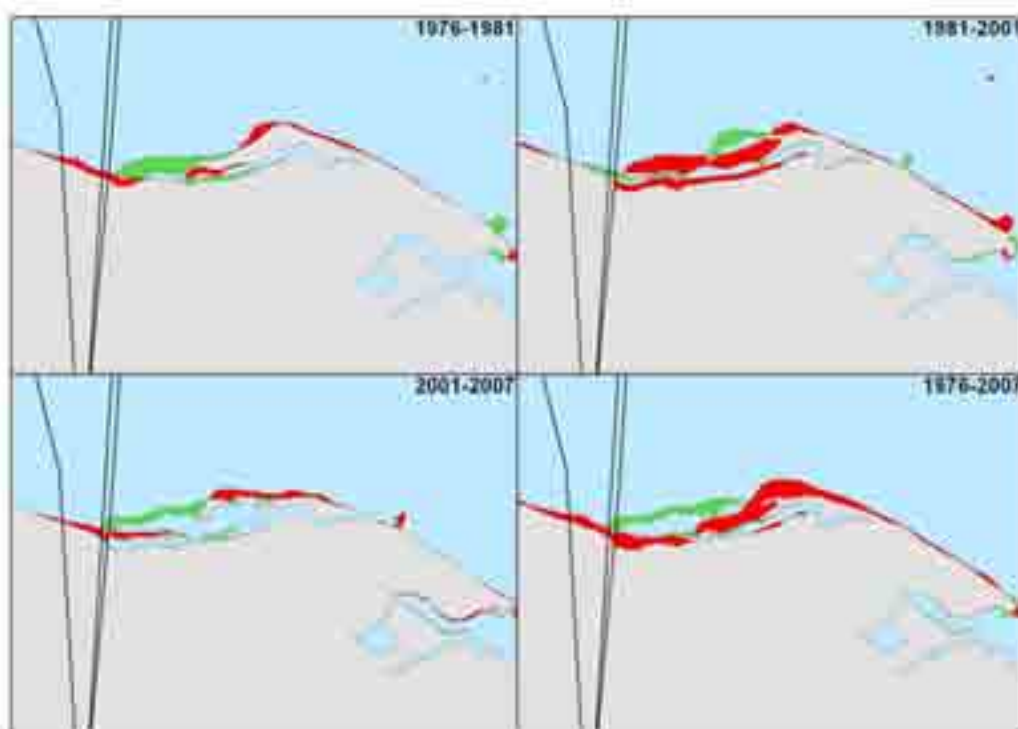


Figura 3.6 – Análise da modificação da linha de costa para década de 70 (1976 a 1981), para década de 80 e 90 (1981 a 2001) e para década de 2000 (2001 a 2007). Além da comparação de 31 anos obtidos de 1976 a 2007 para Praia do Minhoto, onde as áreas de erosão estão em vermelho e as áreas de acresção estão em verde.

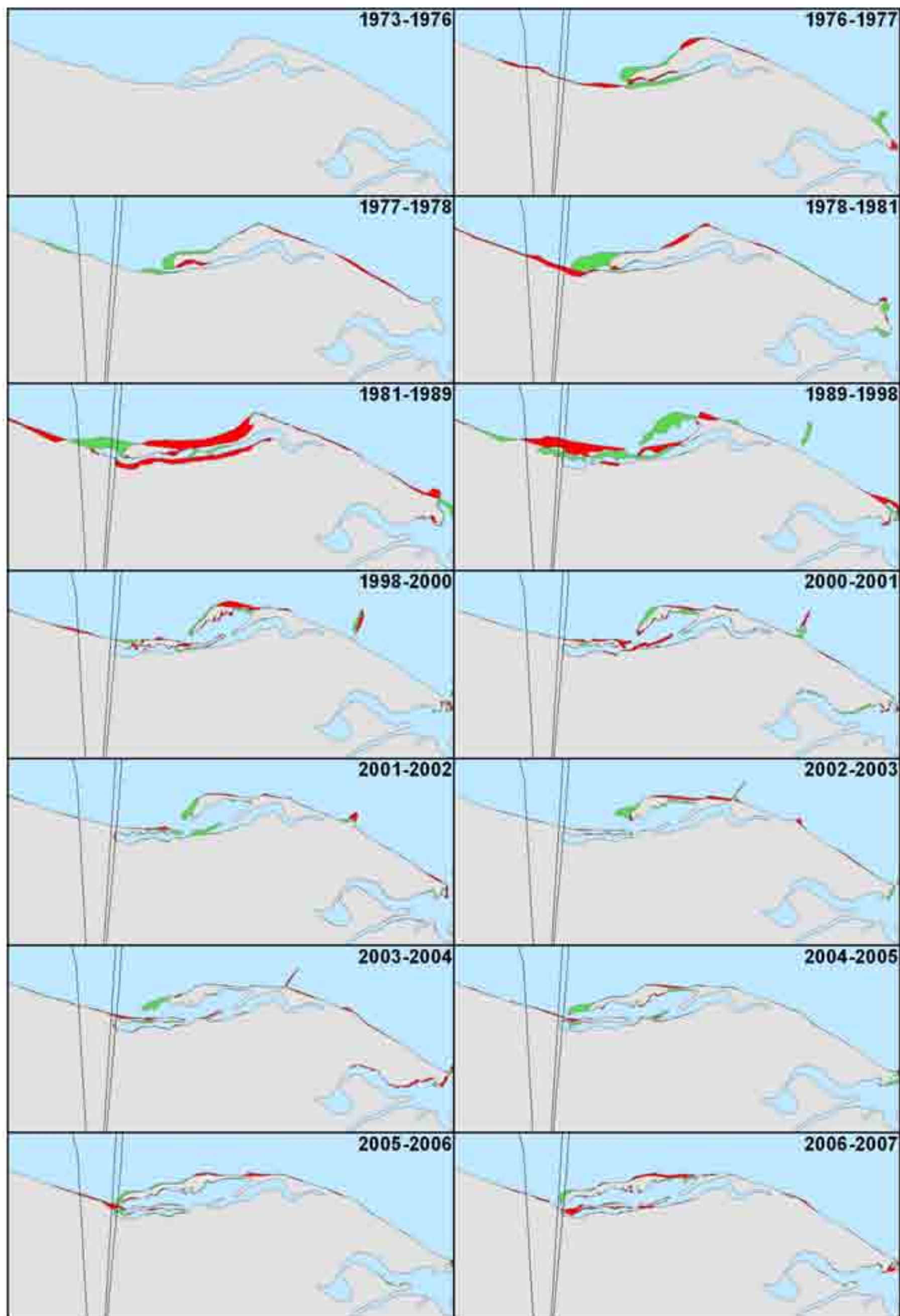


Figura 3.4 – Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1976 a 2007), obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação e as linhas pretas representam a pista de dutos do Pólo Petrolífero de Guamaré.

No decorrer do período de 2002 a 2007, a Área 1 oscila entre ganhos e perdas no balanço sedimentar, chegando a finalizar o período de 2001-2007 com o balanço sedimentar no estado erosivo, mas muito próximo ao valor do estado de equilíbrio (Tabela 3.3). Das seis comparações realizadas neste período interanual, três mostraram o balanço sedimentar positivo (2001-2002, 2002-2003 e 2004-2005), um ficou em equilíbrio (2005-2006) e apenas em duas comparações tiveram balanço sedimentar negativo (2003-2004 e 2006-2007), mas que foram muito mais significativos, o que possibilitou fechar o balanço sedimentar para década de 2000 como relativamente negativo (Figura 3.5).

Acompanhando a evolução do esporão arenoso formado inicialmente em 1989, pôde-se calcular que ocorreu sua migração de Leste para Oeste com uma velocidade média de 150 m/ano no período de 1989-1998, com o deslocamento total em torno de 1.350 m neste período analisado (Figura 3.4). De 1998-2000, essa migração foi baixa se comparado ao outro período analisado com apenas 40 m/ano na velocidade média de migração. Isso deve está condicionado à abertura do canal de maré do estuário principal e as modificações ocorridas no interior deste estuário, que na comparação de 2000-2001 mostra um pequeno esporão arenoso formado no sentido contrário (de Oeste para Leste), fazendo com que o efeito erosivo anulasse a migração do esporão arenoso, retraindo o mesmo cerca de 90 m em um ano observado. Mesmo assim, houve um engordamento deste esporão, que fez com que a força da migração voltasse a atuar nos anos subsequentes.

Na comparação de 2001-2002, a migração foi de 215 m, de 2002-2003 a migração foi aumentada para 330 m, e continuou aumentando a velocidade de deslocamento de 2003-2004 com 625 m de deslocamento, considerado o pico máximo de deslocamento obtido nas comparações analisadas (Figura 3.4). Em 2004-2005 começa a diminuir a velocidade de migração com a proximidade do esporão arenoso com a costa, caindo para 475 m, e diminuindo a migração para 170 m em 2005-2006, chegando a menos que 40 m de migração de 2006-2007. Esta diminuição tão drástica no último período analisado se deve também a uma nova abertura ocorrida no esporão arenoso monitorado, na sua porção mais ao Norte, o que diminuiu o efeito hidrodinâmico de transporte do material,

onde neste período restavam apenas 75 m para atingir a costa, o que só veio a ocorrer no final do ano de 2008.

Área 2

Esta área está localizada na chamada Barra do Fernandez (Figura 3.3), que corresponde ao esporão arenoso que protege o estuário de Barreiras/Diogo Lopes contra ação da força de ondas e marés de mar aberto. Esse esporão arenoso é o maior e um dos mais estáveis que se tem registrado nesta região pesquisada (junto com o esporão arenoso de Galinhos/Galos), tanto que favoreceu todo o desenvolvimento do estuário protegido no seu interior.

No acompanhamento da evolução costeira nos 34 anos analisados (1973-2007), pôde-se verificar que a Barra do Fernandez passou por uma série de transformações ao longo dos anos monitorados neste trabalho (Figura 3.7). Estas transformações se iniciam em 1978, onde o esporão arenoso se rompeu formando novamente a ilha barreira da Ponta do Tubarão, que possibilitou grande movimentação de massas de sedimentos arenosos nos anos subseqüentes com a migração tanto da ilha barreira gerada como também do próprio esporão arenoso. Logo, a partir deste rompimento do esporão arenoso (ou barra arenosa) em 1978, inicia-se o monitoramento da chamada Barra do Fernandez, que teve o balanço sedimentar classificado para o ano de 1977-1978 como de erosão intensa (Tabela 3.4).

A evolução de migração da barra arenosa é uma das mais fortes ocorridas na região. Na comparação de 1978-1981, a velocidade média de migração foi de 160 m/ano em três anos analisados, onde o balanço sedimentar ficou em equilíbrio. De 1981-1989 essa velocidade média diminui para 150 m/ano, com deslocamento total de Leste para Oeste cerca de 1.200 m em apenas oito anos monitorados, com balanço sedimentar negativo, classificado como no estado erosivo.

A velocidade média de migração diminui mais ainda na comparação de 1989-1998 para uma velocidade média de 110 m/ano, porém neste mesmo período ocorreu um grande acúmulo de sedimento na parte mais extrema da barra (Figura 3.8), o que

possibilitou que o balanço sedimentar fosse positivo para o período comparado, estando classificado em estado de deposição (Tabela 3.4). Na comparação de 1998-2000 a velocidade média da migração volta a aumentar para 130 m/ano e junto a isso o efeito erosivo, que deixou o balanço sedimentar no estado de erosão intensa (Tabela 3.4).

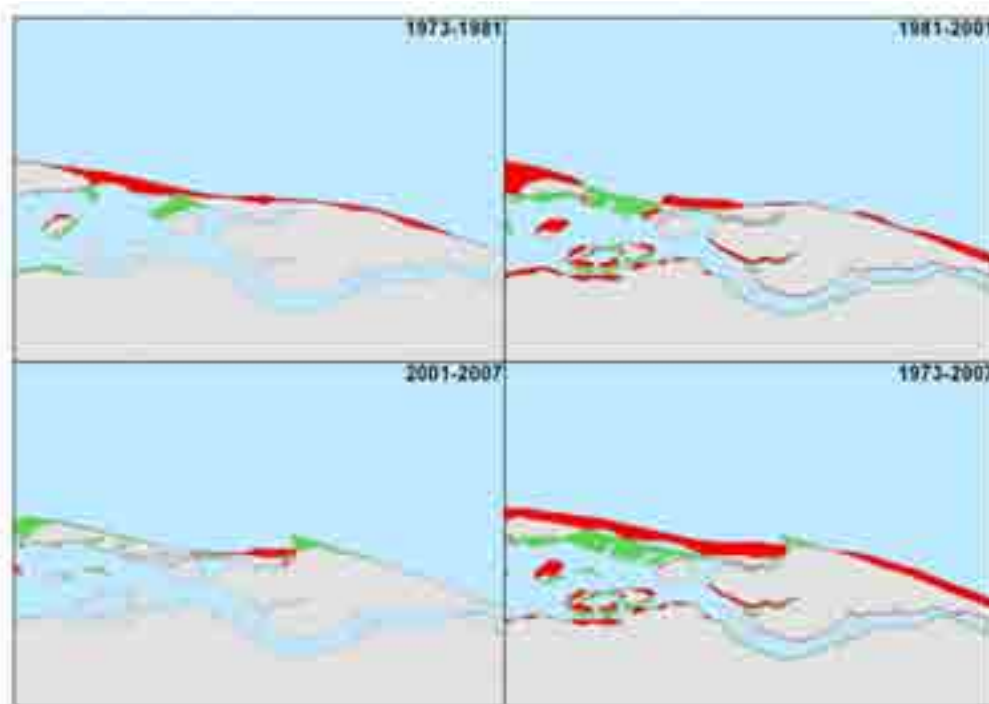


Figura 3.7 – Análise da modificação da linha de costa para década de 70 (1973 a 1981, para década de 80 e 90 (1981 a 2001) e para década de 2000 (2001 a 2007). Além da comparação de 34 anos obtidos de 1973 a 2007 para Barra do Fernandez, onde as áreas de erosão estão em vermelho e as áreas de acreção estão em verde.

Tabela 3.4 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Barra do Fernandez.

	Década	70				80	90	2000							
		Período	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
Fernandez	Erosão (E)	0	19862	583775	290548	1196615	479053	337782	361617	210090	33687	151531	129667	101275	181145
	Acreção (A)	11359	290097	214786	313996	887189	593975	183348	151607	192764	326225	210701	312047	108829	132566
	Razão A/E	N/D	14,61	0,37	1,08	0,74	1,24	0,54	0,42	0,92	9,68	1,39	2,41	1,07	0,73
	Classificação	N/D	DI	EI	EQ	ER	DP	EI	EI	EQ	DI	DP	DI	EQ	ER

Com a aproximação da Barra de Fernandez com a ilha barreira da Ponta do Tubarão a velocidade de deslocamento cai para 60 m/ano na comparação de 2000-2001 (Figura 3.7), devido a barreira hidrodinâmica condicionada pelo canal de maré formado entre os dois, mas o efeito erosivo ainda é intenso para este período avaliado. Essa barreira hidrodinâmica é condicionada pelas forças das marés que impedem o avanço sobre o canal formado entre a Barra do Fernandez e a ilha barreira da Ponta do Tubarão.

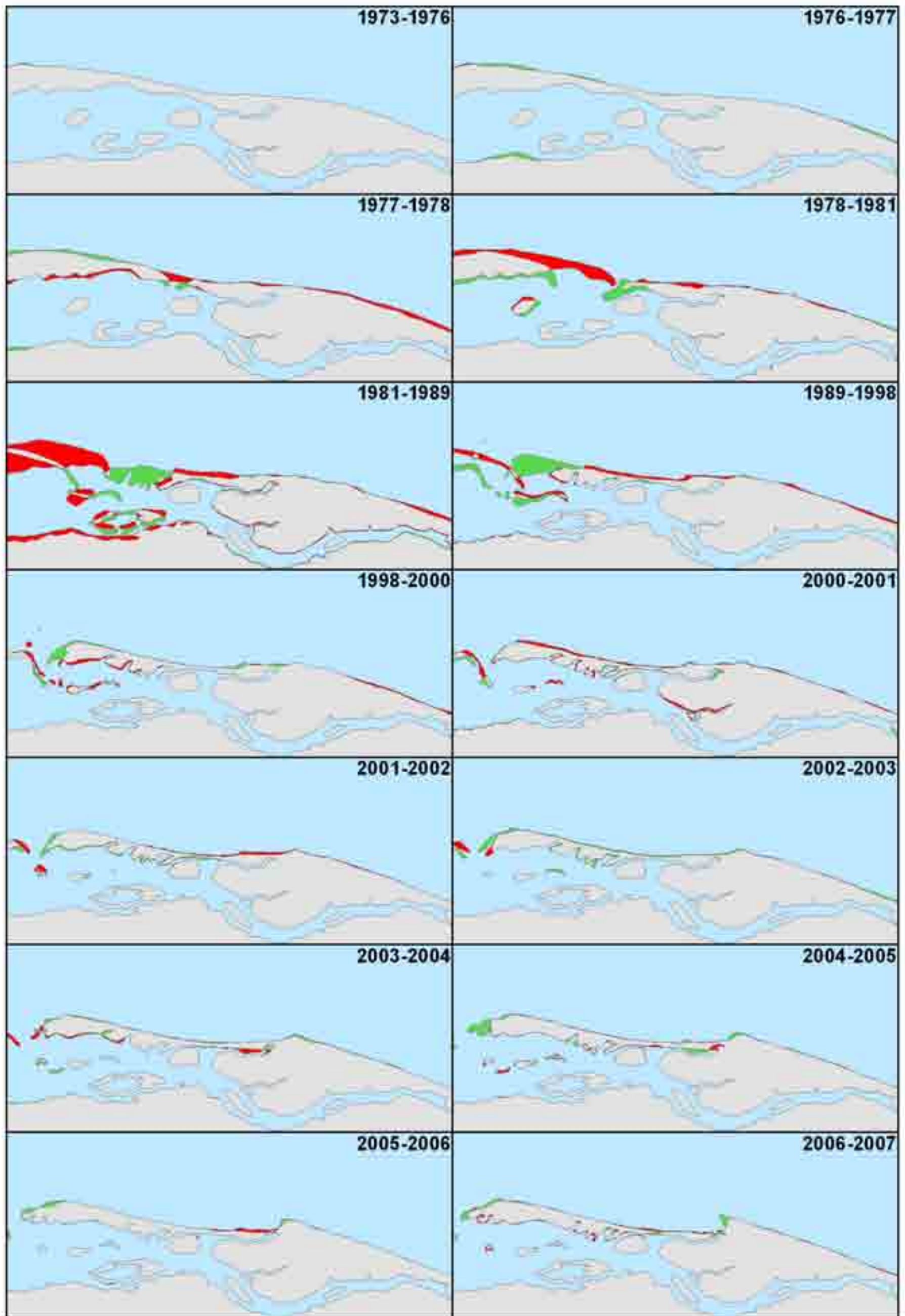


Figura 3.8 – Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007), obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acresção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.

De 2001-2002, a barra arenosa continua a migrar com mais de 160 m de deslocamento para Oeste, sendo que o balanço sedimentar ficou em estado de equilíbrio (Tabela 3.4), no entanto a perda de área de praia foi grande lançando todo o material erodido na extremidade da barra arenosa, e de 180 m na mesma direção na comparação de 2002-2003 (Figura 3.8), mas que muda o balanço sedimentar para estado de deposição intensa (Tabela 3.4), possibilitando o ganho sedimentar em toda barra arenosa monitorada. Neste período observa-se uma ligeira modificação no comportamento evolutivo desta barra arenosa, onde se inicia o grande acúmulo de sedimento num único local da área monitorada, que se seguirá nos anos subsequentes.

A forte migração ocorrida nos anos anteriores foi interrompida na comparação dos anos de 2003-2004, onde a Barra de Fernandez recuou cerca de 300 m para Leste (Figura 3.8). Observa-se ainda neste mesmo período a ampliação do canal de maré que separa a barra arenosa da ilha barreira da Ponta do Tubarão. O balanço sedimentar ocorrido neste período foi de estado de deposição (Tabela 3.4).

Em 2004-2005, a deposição passa a ser classificada como intensa neste período analisado (Tabela 3.4), onde a migração da barra arenosa voltou a atuar com muito mais força, deslocando grande volume de sedimento no período de um ano avaliado, com cerca de 500 m de deslocamento da barra para Oeste (Figura 3.8). Esta comparação demarca o último período de grande acúmulo de sedimento ao longo de toda costa, com balanço sedimentar classificado como em estado de deposição intensa, comportamento este que mudará progressivamente nos anos seguintes.

Na comparação de 2005-2006 a Barra do Fernandez passa novamente por um novo processo de rompimento em maio de 2006, onde ocorreu no mesmo período o rompimento da barra arenosa de Corta Cachorro, na praia de Soledade (Figura 3.9). Porém, esta nova segregação se deu num ponto a mais de 2.200 m de distância a Leste do local onde ocorreu o primeiro rompimento da barra arenosa registrada em 1978. Além da distância, outra diferença em comparação ao ano de 1978 é a formação de uma nova barra arenosa, que evoluirá ao longo dos anos subsequentes. O balanço sedimentar para este período foi de estado de equilíbrio (Tabela 3.4) e a migração da Barra do Fernandez

foi praticamente nula, sendo que só ocorre o aumento no acúmulo de sedimento na sua extremidade.

Na última comparação (2006-2007) os processos de modificação continuam e a nova barra arenosa, batizada pela população local como “Barra Nova”, começa a migrar para Oeste, com cerca de 190 m de deslocamento. A Barra do Fernandez volta a migrar com 180 m de deslocamento para Oeste, quase que o valor similar de deslocamento ao da Barra do Cabeção (Figura 3.8). E no local onde a barra havia se rompido no ano anterior (2006) se fechou devido a forte deposição eólica imposta neste período e a proteção deste canal contra ação das ondas.



Figura 3.9 – Fotografia de baixo ângulo mostrando a abertura do canal e o crescimento de uma nova barra arenosa (Barra Nova) em março de 2006. Foto: Ronaldo Diniz (IDEMA/RN).

Área 3

A Área 3 foi definida para monitorar a evolução costeira da ilha barreira da Ponta do Tubarão, localizada a frente da falésia de Chico Martins, na praia de Soledade, região de Macau/RN (Figura 3.3). Esta ilha barreira tem um histórico de surgir e extinguir no decorrer dos anos. A periodicidade disso ainda não se tem conhecimento. Contudo, o primeiro registro data de 1806 do Mapa de Divisão Física e Política da América do Sul feita em Londres/Inglaterra (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Detalhe do Mapa da Divisão Física da América do Sul produzido em 1806 na Inglaterra. A seta em vermelho indica a existência da ilha barreira da Ponta do Tubarão neste mapa. Fonte: David Rumsey Collection.

Outro registro cartográfico da existência da ilha barreira da Ponta do Tubarão é datado de 1889, na Planta da Área do Privilégio, disponível no Patrimônio da União pelo Museu Câmara Cascudo/UFRN (Figura 3.11). Neste trabalho foi feita uma tentativa de resgate da informação para acrescentar, na forma qualitativa, a espacialização da linha costa desses mapas antigos, porém a deformação dos mapas ocorreu pela limitação das ferramentas disponíveis na época para se realizar um mapeamento adequado ao real. Mesmo assim, os mapas possibilitaram uma idéia do que realmente existia, e pôde-se averiguar a existência da ilha da Ponta do Tubarão é uma constante e que muitas vezes é confundida com a Barra do Fernandez.

No acompanhamento de 34 anos da evolução costeira para ilha barreira da Ponta do Tubarão tornou-se ilha propriamente dita novamente somente a partir de 1978 com o rompimento da Barra do Fernandez (Figura 3.12). A migração dos sedimentos ocorre de Leste para Oeste, mas logo quando alcança o local frontal à falésia de Chico Martins a ilha muda de direção no sentido Nordeste para Sudoeste, mas ainda com a componente direcional para Oeste.

Desde o seu ressurgimento em 1978, o volume de transporte de sedimento nesta região é amplo e a ilha barreira está condicionada ao material carreado da barra arenosa de Fernandez, e influencia as modificações ocorridas na praia de Soledade, contribuindo diretamente ao efeito erosivo instalado ao longo dos últimos 10 anos nesta região.

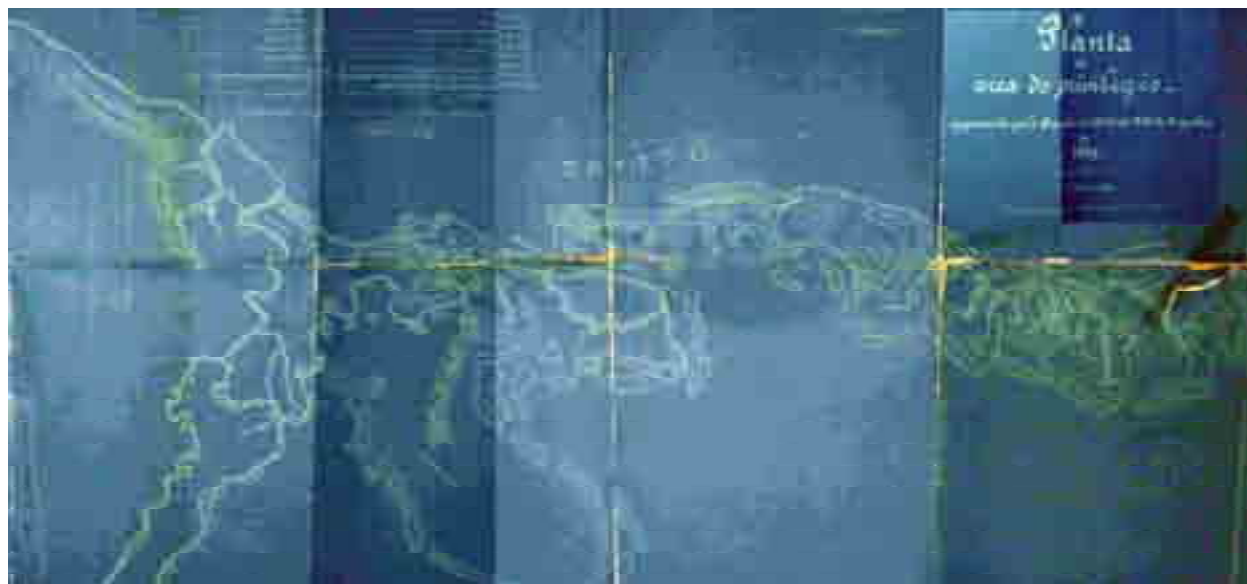


Figura 3.11 – Detalhe do Mapa da Área de Privilégio para região monitorada feito em 1889. Fonte: Patrimônio da União.

A ilha barreira da Ponta do Tubarão serve de proteção, junto com a barra de Fernandez, ao estuário de Barreiras/Diogo Lopes contra ação das ondas e correntes marinhas. Nos últimos anos monitorados a ilha barreira vem diminuindo significativamente sua área, onde teve seu auge em 1981 com área de 2.280.000 m² e em 2007 a área é de apenas 630.000 m², redução de 64% da área da ilha barreira da Ponta do Tubarão em 26 anos de comparação (1981-2007).

O balanço sedimentar, tanto no cálculo feito para área como na classificação adotada mostrando o estado de erosão, de equilíbrio e de deposição demonstram a contínua perda de sedimento ao longo dos anos analisados, onde o déficit de sedimento é maior do que de ganho nas datas avaliadas. Exceto a década de 70, que foi o período de maior acúmulo de sedimento obtido no monitoramento para esta região, ganho de área ocorreu nos anos de 2002 e 2005, porém estes ganhos foram pífios se comparados às perdas nos demais anos, ocasionado pelo efeito erosivo (Tabela 3.5).

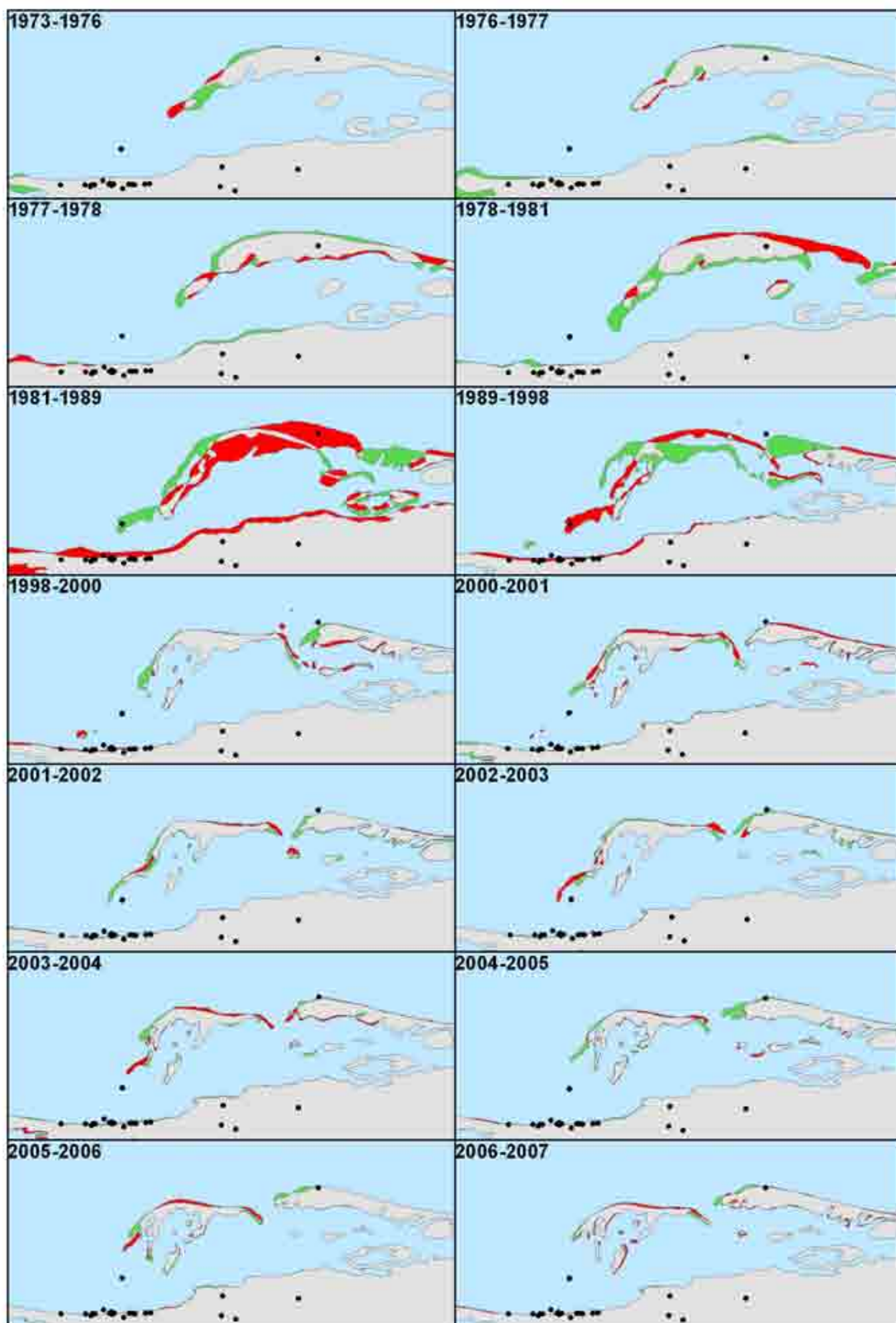


Figura 3.12 – Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007), obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.

Tabela 3.5 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Ponta do Tubarão.

Década	70				80	90	2000								
	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	
P Tubarão	Erosão (E)	126737	95443	319747	707742	1788904	768561	98023	288506	127486	180451	195166	113361	169425	172719
	Acreção (A)	265612	182862	364672	678919	561521	773327	172994	174451	156919	125128	129907	153868	134323	56298
	Razão A/E	2,10	1,92	1,14	0,96	0,31	1,01	1,76	0,60	1,23	0,69	0,67	1,36	0,79	0,33
	Classificação	DI	DP	DP	EQ	EI	EQ	ER	EI	DP	EI	EI	DP	ER	EI

No acompanhamento ano a ano da evolução costeira verificou-se que de 1977 a 1978, período do rompimento da Barra do Fernandes e formação da ilha barreira da Ponta do Tubarão, a ilha foi segmentada em duas, mas mesmo assim fechou o ciclo positivo do balanço sedimentar para a década de 70, como estado de deposição (Tabela 3.5).

De 1978 a 1981, a ilha barreira volta a ser uma única ilha, se distanciando da barra do Fernandez, empurrada pelo canal de maré, que foi aberto entre os dois, e se aproximando da continente pelo assoreamento dos canais de maré existentes, ocasionado pelo grande volume de sedimento transportado pela força hidrodinâmica da deriva litorânea, com deslocamento de 550 m no sentido Nordeste para Sudoeste na comparação de 1978-1981, ou seja, a velocidade média de transporte foi de 183 m/ano (Figura 3.12). Apesar desta grande movimentação de massa ocorrida durante este período, o balanço sedimentar ficou em estado de equilíbrio (Figura 3.13).

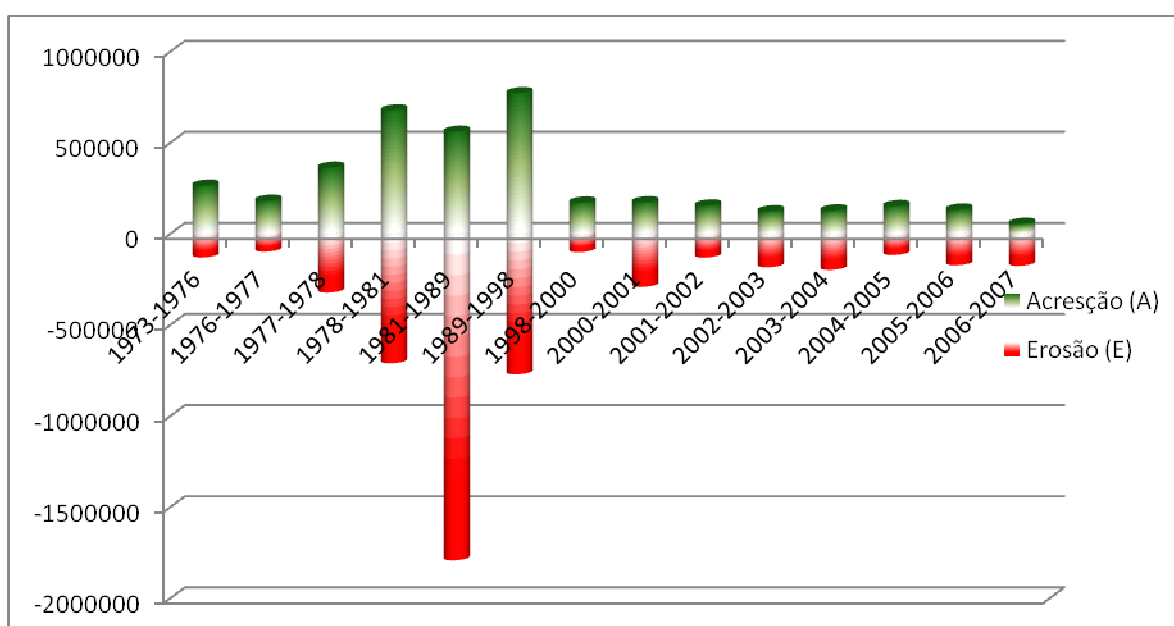


Figura 3.13 – Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costa de 1973 a 2007 para ilha barreira da Ponta do Tubarão.

Na década de 80, a PETROBRAS se instala na região colocando poços de exploração ao longo da costa. Em 1983, o poço de exploração 1PT0001RN foi instalado na ilha barreira da Ponta do Tubarão e em 1985 foi instalado outro poço de exploração (7MA0022RN) entre o continente e a ilha barreira. O acesso a este último poço se deu pela construção de um píer, que também servia de logística de transporte de material para outros poços exploratórios marinhos que estava sendo feito na região. A construção deste píer favoreceu o desenvolvimento da ilha barreira pelo aprisionamento dos sedimentos arenosos que estavam sendo perdidos nos anos anteriores e condicionou uma série de mudanças nos anos seguintes.

Na comparação de 1981-1989 a ilha barreira da Ponta do Tubarão passa por grandes modificações condicionadas pelo forte processo erosivo ocorrido neste período gerando grande perda de área da ilha barreira (Figura 3.12). Este efeito erosivo atuou não só na ilha barreira, mas também em toda região monitorada, como a praia de Soledade, que já possuía o campo petrolífero de Macau em atividade a partir de 1983. No entanto, a ilha barreira migrou fortemente com deslocamento total de cerca de 1.080 m de Nordeste para Sudoeste, com uma velocidade média de 135 m/ano. Mas além desta parte que migrou, outra parte de ilha migrou paralelamente com mais de 1.760 m de deslocamento no mesmo sentido, o que dá uma velocidade média de 220 m/ano.

Este deslocamento em encontro com o continente se deve a base do píer construído pela PETROBRAS em 1985 (Figura 3.14), que reteve o sedimento em sua base, possibilitando a grande acumulação e mobilização do sedimento neste setor, o que fez diminuir a velocidade das correntes geradas nos canais de maré. A migração da ilha barreira fez com que estrangulasse o principal canal de maré, empurrando-o em direção ao continente, promovendo assim a forte erosão na praia de Soledade neste período.

No período avaliado de 1989-1998, denota em novas transformações ocorridas na ilha barreira da Ponta do Tubarão condicionada agora pela retirada do píer em 1996. Essas transformações foram ocasionadas pelo grande acúmulo de sedimento no início dos anos 90 e depois pela forte erosão que voltou depois da retirada do píer, o que mexeu muito com o balanço sedimentar durante este período. Onde mesmo assim, conseguiu terminar em estado de equilíbrio (Tabela 3.5). A ilha barreira gerou uma nova barra

migratória mais a frente que as anteriores geradas e migrou cerca de 1.000 m num intervalo de 9 anos, ou seja, a velocidade neste ponto foi de 110 m/ano. E houve a erosão nas duas antigas barras migratórias, com mais de 1.000 m de perda de área cada uma durante este período avaliado, promovido pela reabertura dos canais de maré do estuário Barreiras/Diogo Lopes com a retirada do píer.



Figura 3.14 - Fotografia aérea de 1988 mostrando a localização do antigo píer da PETROBRAS que interligava o continente com a ilha barreira.

De 1998-2000, a ilha barreira continuou migrando de Nordeste para Sudoeste pela nova barra migratória gerada na comparação anterior analisada, com uma velocidade média de deslocamento de cerca de 200 m/ano (Figura 3.12). Na parte posterior da ilha barreira da Ponta do Tubarão houve migração de uma nova barra, porém em sentido invertido do habitual das migrações nesta área, isso ocorre devido a força das marés de enchente e vazante que atuam no canal de maré que separa a ilha barreira da barra do Fernandez.

Na comparação de 2000-2001, a migração da ilha barreira da Ponta do Tubarão neste período foi de 415 m (Figura 3.12), mas a ilha barreira recuou em média cerca de

70 m de faixa de praia ao longo da sua costa e a barra migratória que se localizava na porção posterior da ilha também foi erodida. Neste período o balanço sedimentar é negativo, classificado como em estado de erosão intensa (Tabela 3.5). No entanto, na comparação de 2001-2002 a ilha barreira ficou com o balanço sedimentar positivo, com estado de deposição (Tabela 3.5), o que incrementou a migração dela novamente em direção ao continente com cerca de 580 m de deslocamento, na qual é o último registro deste monitoramento obtido da aproximação da ilha barreira da Ponta do Tubarão com o continente. O recuo na porção posterior da ilha barreira foi em média de 30 m.

Em 2002-2003 e 2003-2004, o balanço sedimentar é negativo, ambos classificados em estado de erosão intensa para área analisada (Tabela 3.5), onde a ilha barreira da Ponta do Tubarão tenta migrar em direção ao continente, mas a força da maré vazante que atua no canal de maré que abastece o estuário de Barreiras/Diogo Lopes impede o seu desenvolvimento. Na comparação de 2003-2004, uma nova barra migratória é formada mais a Oeste, movimentando grande massa sedimentar nesta porção da ilha barreira (Figura 3.12). Em ambas as dadas (2002-2003 e 2003-2004) o recuo da costa na área posterior da ilha barreira da Ponta do Tubarão continua sendo constante, causando grandes perdas de área. Muito deste material é transportado para barra migratória ou perdido nas correntes marinhas que lá transitam.

De 2004-2005 a ilha barreira tem o último registro de deposição para o balanço sedimentar avaliado ao longo dos 34 anos monitorados (Tabela 3.5). Onde a ilha migrou cerca de 580 m por este período. Nos anos subsequentes avaliados (2005-2006 e 2006-2007), a ilha barreira da Ponta do Tubarão pouco migrou e o efeito erosivo só se intensificou gradualmente, gerando grandes perdas de área nestes períodos analisados. A migração da ilha barreira está condicionada à recarga de sedimentos oriundos da Barra do Fernandez e quando o transporte deste material é baixo da barra para ilha, o balanço sedimentar tende a ser negativo o máximo possível pelo inverso da proporção (Tabela 3.5). Menos sedimento transportado, menos capacidade de transporte na migração da ilha barreira, o que possibilita na maior interferência do canal de maré, que passa entre a ilha e o continente, na migração da ilha em direção ao continente.

Área 4

Esta área corresponde a praia de Soledade (Figura 3.3), que compreende a barra arenosa do Corta Cachorro, que a partir do ano de 2006 passou a ser uma ilha barreira. Nesta região estão inseridas atividades antrópicas, constituídas pela indústria salineira e pela indústria petrolífera. A primeira se instalou na região no final da década de 70, com a construção de tanques de evaporação e de cristalização da chamada Salina Soledade, a partir também da contribuição da forte deposição de sedimentos arenosos oriundas do transporte marinho/eólico ocorrida neste período.

Já a indústria petrolífera iniciou suas operações com a instalação de três poços de exploração pioneiros ao longo da praia de Soledade no final do ano de 1982, executada pela PETROBRAS. Dentre os poços pioneiros só o 1MA0005RN descobriu o campo petrolífero, que posteriormente seria denominado como Campo Macau. Após esta descoberta foi instalada em toda região uma série de poços ao longo das décadas de 80 e 90 em busca de ampliação de reservas, definindo assim o Campo Macau com um dos principais produtores na região. No ano de 1997 foi descoberto um novo campo petrolífero (Campo Serra), que foi ampliado ao longo dos anos de 2000.

Atualmente os Campos Macau e Serra estão sendo atingidos com o avanço da linha de costa sobre o continente, onde a partir da década de 90 até o ano de 2007, como mostra o monitoramento realizado. A erosão passa a ser mais atuante ao longo da praia de Soledade, o que compromete as atividades da indústria petrolífera e põe a região em risco de acidente ambiental com o derramamento de óleo, mesmo que medidas de engenharia do tipo *hard* para contenção a ação das ondas e marés vem sendo adotadas para conter a erosão na base desses campos petrolíferos. Um exemplo disso é o poço 1MA0005RN, que quando foi instalado, usando a imagem com a data mais próxima desse período (1981), ele estaria a uma distância de 165 m da linha de costa, mas pela imagem recente (2007) o mesmo poço encontra-se apenas a 28 m de distância da linha de costa.

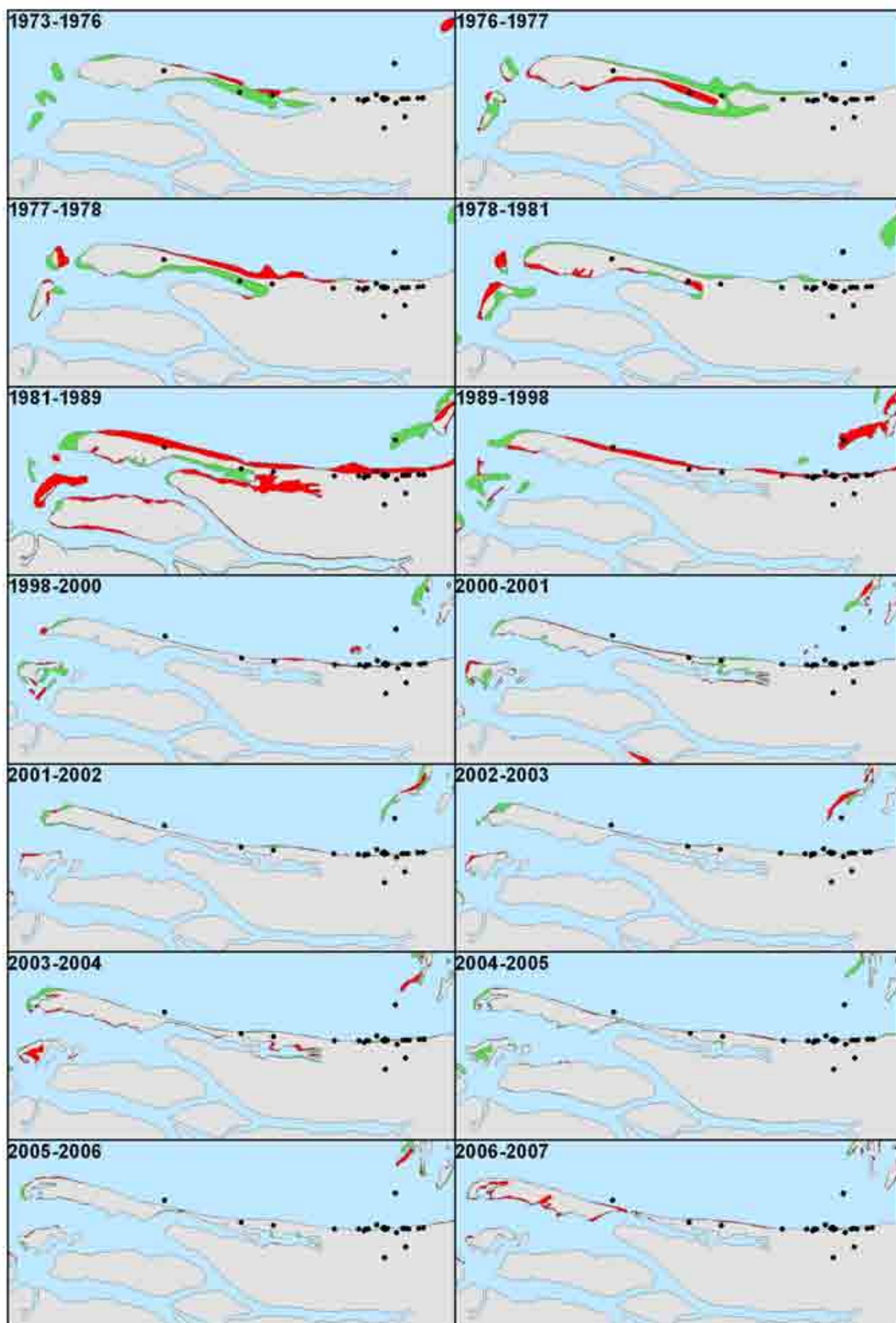


Figura 3.15 – Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007), obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.

Analisando os dados multitemporais da linha de costa pôde-se verificar que no início da década de 70 a praia de Soledade era segmentada (1973-1976), onde a barra do Corta Cachorro se apresentava como uma ilha barreira (Figura 3.15). No entanto, na comparação de 1976-1977 observou-se que neste período houve uma forte deposição de sedimentos arenosos, o que permitiu reintegrar a ilha barreira ao continente (Figura 3.15). O balanço sedimentar continua positivo nesta região até o final da década de 70, com classificação do estado de deposição nas datas de 1977-1978 e 1978-1981 (Tabela 3.6).

Durante a década de 70 a migração do esporão arenoso foi praticamente nula, mesmo que este período tenha sido de balanço sedimentar positivo para todas as datas comparadas (Tabela 3.6). Vale destacar que em 1977-1978 a costa teve uma regressão em média de 80 m (Figura 3.14).

Tabela 3.6 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Praia de Soledade.

Década	70				80	90	2000								
	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	
Soledade	Erosão (E)	122493	411619	563015	387164	2217231	652516	212637	218426	97859	67963	251425	89732	69213	275229
	Acreção (A)	730936	1113381	713445	558083	488760	394432	175177	342495	114309	121236	275128	246489	121120	48610
	Razão A/E	5,97	2,70	1,27	1,44	0,22	0,60	0,82	1,57	1,17	1,78	1,09	2,75	1,75	0,18
	Classificação	DI	DI	DP	DP	EI	EI	ER	DP	DP	DP	EQ	DI	DP	EI

Na década de 80, analisada pela comparação entre datas de 1981-1989, a praia de Soledade passou por um forte processo de erosão (Tabela 3.5), que culminou numa série de transformações possivelmente relacionáveis a ação antrópica, tanto da atividade salineira como da atividade petrolífera. Com a instalação da Salina Soledade na área de estudo, no final da década de 70, seus tanques impediram o retrabalhamento e o acúmulo do material arenoso carregado do mar e das praias. A indústria petrolífera também interferiu no sistema quando instalou um píer em 1985 para dar suporte as suas operações naquela região (Figura 3.14). Esta interferência da ação antrópica na natureza desconfigurou todo sistema que até então estava em equilíbrio.

O píer fez com que o canal de maré, que passa entre a ilha barreira da Ponta do Tubarão com a praia de Soledade fosse parcialmente barrado e ainda com o auxílio da barra migratória oriunda da própria ilha barreira, deixando a maré de enchente

subordinada a maré de vazante. Quando a maré de vazante atuava o píer que servia como barreira empurrasse a massa d'água em direção ao continente, promovendo um grande efeito erosivo durante o período de 1981-1989 (Tabela 3.6), onde o recuo da linha de costa foi em média de 130 m nos oito anos monitorados, ou seja, uma regressão de cerca de 16 m/ano. O esporão arenoso da barra do Corta Cachorro migrou neste mesmo período cerca de 410 m para Oeste, o que dá uma velocidade média de migração em torno de 51 m/ano.

Esse efeito erosivo perdurou durante boa parte da década de 90, na comparação de 1989-1998, parcialmente recebendo a interferência do píer que se manteve na área até o ano de 1996 promovendo o forte recuo da linha de costa, com média de 80 m de regressão total na comparação de 1989-1998 (Figura 3.15). Todo este material foi transportado na parte terminal da barra arenosa do Corta Cachorro que migrou cerca de 430 m nos nove anos avaliados, ou seja, a velocidade média de migração foi de 48 m/ano.

No final da década de 90 (1998-2000), o efeito erosivo na área diminuiu consideravelmente (Tabela 3.6), com balanço sedimentar classificado como de erosão, onde a ausência do píer fez com que todo material acumulado no canal de maré, que impedia o seu curso natural, fosse completamente carregado ao longo da costa, desobstruindo a circulação das marés atuantes no estuário de Barreiras/Diogo Lopes. Isso fez com que nas comparações de 2000 a 2006 (2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005 e 2005-2006) quase que por absoluto o balanço sedimentar tenha ficado em estado de deposição (Figura 3.16). Tendo somente na comparação de 2003-2004 o balanço sedimentar ficou em estado de equilíbrio (Tabela 3.6), fato que corrobora com a informação da interferência negativa do píer da PETROBRAS para o balanço sedimentar na área em questão. Durante todo esse período o esporão arenoso teve migração baixa a quase nula.

Analisando os dados multitemporais da linha de costa pôde-se verificar que no início da década de 70 a praia de Soledade era segmentada (1973-1976), onde a barra do Corta Cachorro se apresentava como uma ilha barreira (Figura 3.15). No entanto, na comparação de 1976-1977 observou-se que neste período houve uma forte deposição de sedimentos arenosos, o que permitiu reintegrar a ilha barreira ao continente (Figura 3.15).

O balanço sedimentar continua positivo nesta região até o final da década de 70, com classificação do estado de deposição nas datas de 1977-1978 e 1978-1981 (Tabela 3.6).

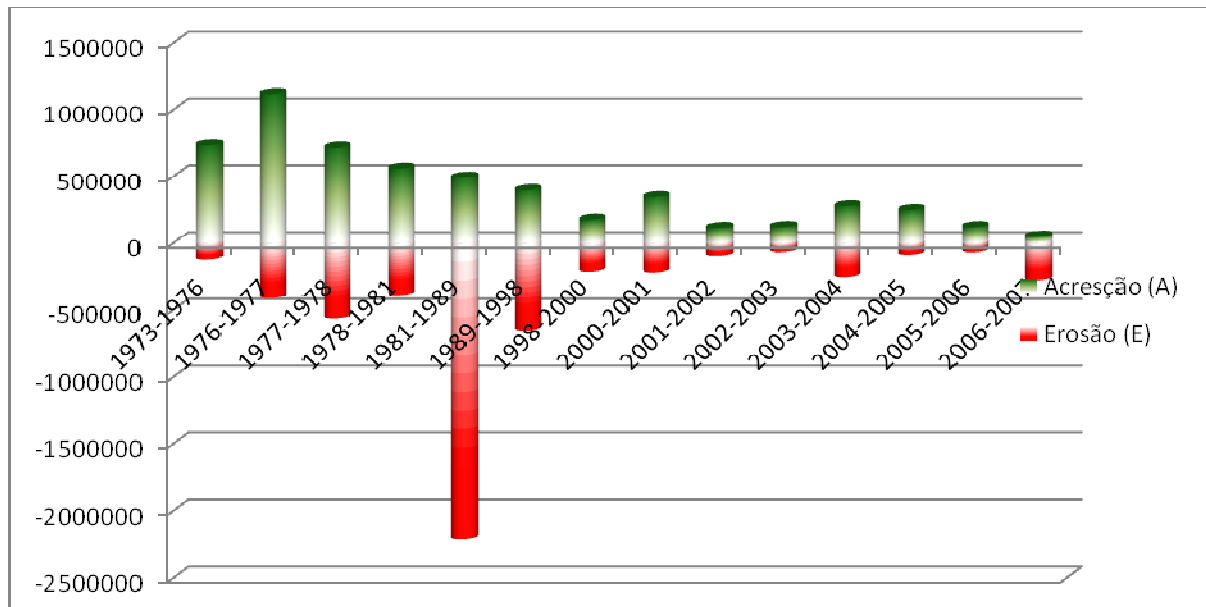


Figura 3.16 – Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costa de 1973 a 2007 para Praia de Soledade.

Analisando os dados multitemporais da linha de costa pôde-se verificar que no início da década de 70 a praia de Soledade era segmentada (1973-1976), onde a barra do Corta Cachorro se apresentava como uma ilha barreira (Figura 3.15). No entanto, na comparação de 1976-1977 observou-se que neste período houve uma forte deposição de sedimentos arenosos, o que permitiu reintegrar a ilha barreira ao continente (Figura 3.15). O balanço sedimentar continua positivo nesta região até o final da década de 70, com classificação do estado de deposição nas datas de 1977-1978 e 1978-1981 (Tabela 3.6).

O risco ambiental ficou evidente com a implementação de um poço avançado (7SER13DRNS) na barra do Corta Cachorro em 2004 (Figura 3.18). A instalação desse poço já havia sido considerada de alto risco ambiental por Souto (2004), que identificou o estreitamento da barra arenosa, prevendo o seu rompimento nos anos subseqüentes. A consolidação deste prognóstico ocorreu no início do ano de 2006, com a abertura do nominado “canal do arrombado” (Figura 3.17). Isso ocasionou uma série de problemas para a empresa, que teve como exigência pelo órgão ambiental do RN (IDEMA) a retirada de todo material deixado na área, que no período em que o poço foi instalado se encontrava a mais de 40 m de distância da linha de costa e foi completamente destruído

nos últimos anos pela ação das ondas e marés (Figura 3.19). A retirada deste material se tornou impossível pela dificuldade de acesso gerado pela abertura do canal.



Figura 3.17 – Fotografia de baixo ângulo do sobrevôo feito em março de 2006 registrando o início da abertura do canal. Foto: Ronaldo Diniz (IDEMA/RN).



Figura 3.18 – Fotografia do início da obra para instalação do poço avançado 7SER13DRNS da PETROBRAS em 2004.



Figura 3.19 – Fotografias de 2005, 2006 e 2007 partindo da mesma perspectiva de visão para mostrar as modificações ocorridas pela erosão promovida durante este período registrado.

No acompanhamento da evolução do canal do arrombado, observou-se a ampliação da abertura ocorrida entre o que restou da barra arenosa e a ilha barreira formada na comparação de 2006-2007. No entanto, o canal efetivo migrou de Leste para Oeste, sendo empurrado pela migração dos sedimentos oriundos da barra arenosa, com quase 200 m de deslocamento em apenas um ano de observação (Figura 3.15). A ocorrência desse canal já poderia ser prevista uma vez que nas décadas de 60 e 70 o canal era atuante, porém sua abertura estava mais Leste, cerca de 1.650 m da posição registrada em 2007 (Figura 3.15).

Área 5

A Área 5 está inserida na praia de Camapum, localizada a 3 km ao Norte da cidade de Macau/RN, pela na ilha de Alagamar, junto a foz do rio Assu e rodeada pelas salinas que estão instaladas a décadas na região monitorada (Figura 3.3). De acordo com o histórico da cidade de Macau, desde sua fundação em 1829 existem relatos do avanço do mar sobre esta região, onde ilhas surgem e desaparecem constantemente. A cidade de Macau foi construída numa ilha barreira, que é comum se formarem ao longo desta faixa de área monitorada e sua permanência pode estar correlacionada ao seu substrato, que é formado pelos derrames basálticos subaquoso da Formação Macau (Milane *et al.*, 2000), o que ocasionou o alto estrutural, permitindo assim o grande acúmulo de sedimento e certa estabilidade ao longo dos anos.

Esta área crítica é considerada uma praia turística, onde foi construída na década de 90 uma área urbana com quiosques e circulação de veículos para apoio turístico. Entretanto, registros publicitários apontaram que os maiores efeitos erosivos foram sentidos a partir do ano de 1999, com a primeira destruição de grande parte da área urbana da praia de Camapum. Para resolver o problema do avanço do mar sobre a costa foi construída uma série de oito gabiões ao longo da praia, aproximadamente perpendiculares a linha de costa (Figura 3.20). No entanto, esta medida teve eficiência baixa, acarretando um efeito contrário ao esperado, ou seja, ao invés de acumular sedimento os gabiões aumentaram o efeito erosivo principalmente na área onde foram instalados (Figura 3.21).



Figura 3.20 – Fotografia de baixo ângulo da praia de Camapum no sobrevôo de 2007, com a vista da orla urbana e os gabiões que foram construídos perpendiculares a faixa de praia.



Figura 3.21 – Fotografia mostrando o efeito erosivo em cima dos gabiões na praia de Camapum, não acumulando sedimento neste período.

Analisando as informações multitemporais da linha de costa, verificou-se que na década de 70 o balanço sedimentar terminou como sendo positivo (estado de deposição), mesmo tendo dois períodos com balanço negativo (1973-1976 e 1978-1981) (Tabela 3.7). No entanto, na década de 80 o efeito erosivo foi intenso e entrou no estado de equilíbrio durante a década de 90 (Tabela 3.7). Esta estabilidade relativa fez com que os órgãos

competentes construíssem a área urbana da praia de Camapum para receber turistas na região. No ano 2000 o efeito erosivo foi intenso (Figura 3.22), principalmente na área em que foi instalada a parte urbana da praia, o que destruiu parte da orla construída.

Tabela 3.7 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Praia de Camapum.

Década	70				80	90	2000							
	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007
Erosão (E)	323953	115337	107300	390371	514211	225097	101754	252047	132521	99526	37764	66282	97863	36589
Acreção (A)	144559	644967	113305	210064	322568	207171	91866	80235	18178	82710	332636	110626	37016	82190
Razão A/E	0,45	5,59	1,06	0,54	0,63	0,92	0,90	0,32	0,14	0,83	8,81	1,67	0,38	2,25
Classificação	EI	DI	EQ	EI	EI	EQ	EQ	EI	EI	ER	DI	DP	EI	DI

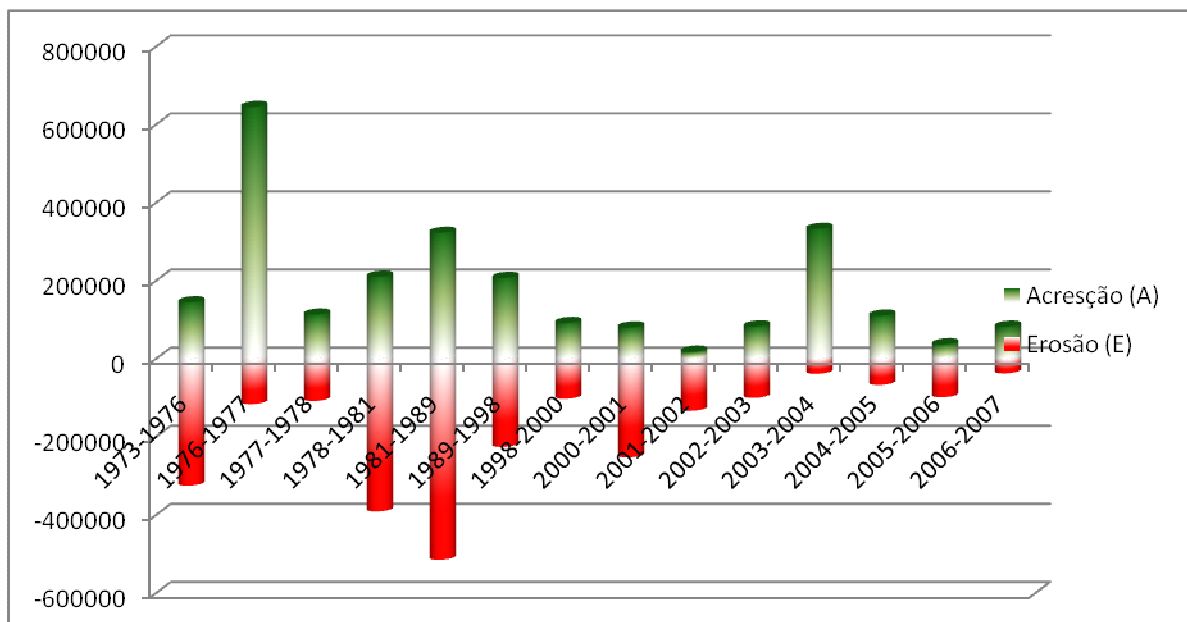


Figura 3.22 – Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costa de 1973 a 2007 para Praia de Camapum.

No período de 2000-2001, com a construção dos gabiões distribuídos ao longo da costa, o efeito erosivo se intensificou em alguns trechos onde os mesmos estão instalados, além de toda a orla turística (Figura 3.23). Porém este efeito erosivo foi diminuindo no decorrer dos anos de 2000 e ficou com o balanço sedimentar no estado de erosão intensa nas duas primeiras comparações (2000-2001 e 2001-2002), passando para estado de erosão em 2002-2003 (Tabela 3.7) e nas datas seguinte como estado de deposição para o balanço sedimentar calculado até o ano de 2007, exceto na comparação de 2005-2006, que apresentou o balanço sedimentar como negativo para este período (Tabela 3.7).

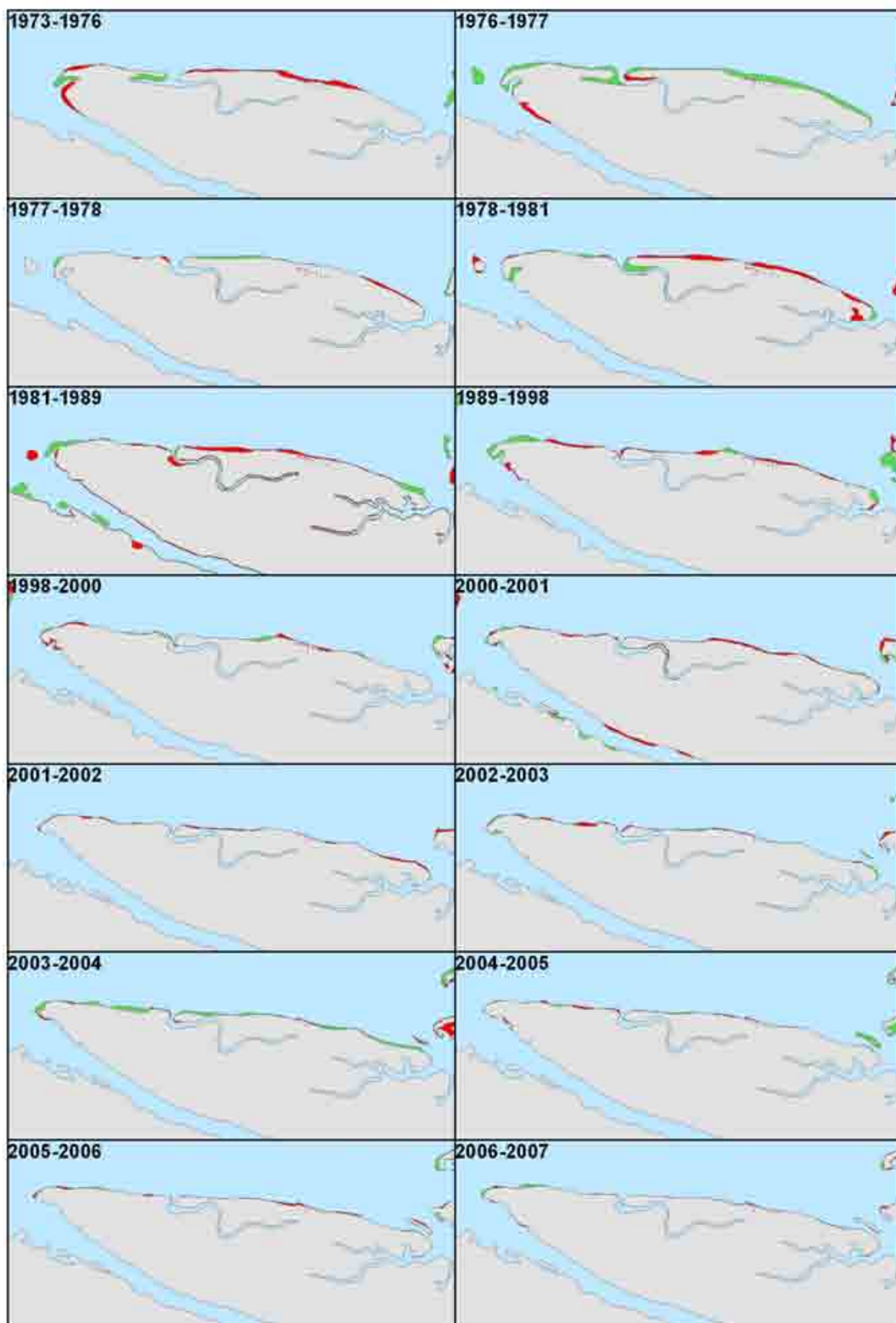


Figura 3.23 – Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007), obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.

Área 6

A Área 6 está localizada na foz do rio das Conchas, que margeia a cidade de Porto do Mangue/RN (Figura 3.24). Tanto a região da foz do rio como dentro do próprio estuário são afetados pela modificação na morfologia costeira. No entanto, essas modificações possuem grande contribuição da ação antrópica do que o próprio processo natural que vem agindo ao longo de toda costa monitorada. A ação antrópica que está sendo mais prejudicial na área em questão se dá pela obstrução dos rios, devido as construções de diques e desvios ao longo do seu leito nos últimos 20 anos observados.



Figura 3.24 – Fotografia de baixo ângulo tirada no sobrevôo de helicóptero (03/05/2007) mostrando a foz do rio das Conchas e a cidade de Porto do Mangue ao fundo.

O rio das Conchas era usado para navegação de grandes barcaças de sal, porém o acesso vem sendo cada vez mais menos utilizado por causa do assoreamento do rio nos últimos anos, dificultando a passagem dessas embarcações. Assim como as demais cidades desta região litorânea, a cidade de Porto do Mangue se beneficia da indústria salineira e atualmente com a carcinicultura, e essas modificações ocasionam perda de arrecadação para cidade.

Analisando a década de 70 (1973-1981) verificou-se que a abertura da foz do rio das Conchas era mais ampla, permitindo o fácil acesso de embarcações ao interior do rio. Entretanto, com a construção da barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, finalizada sua construção em 1983, comprometeu a energia de vazante do rio contra maré de enchente, visto que a estabilidade da abertura mantida durante toda a década de 70 foi completamente alterada na década de 80, pela comparação feita de 1981-1989, o que de certa forma favoreceu ao crescimento da cidade (Figura 3.25). Barras e esporões arenosos próximos das duas margens do rio das Conchas se desenvolveram durante este período, reduzindo a desembocura da foz do rio. O deslocamento do esporão arenoso localizado a Oeste da foz do rio foi de 1.075 m nos 8 anos comparados, logo tendo uma velocidade média de migração para Leste de 134 m/ano para Sudeste (Figura 3.25).

Isso foi se agravando cada vez mais na década de 90 com a construção de diques para abastecimento de tanques de camarão, deixando que o fluxo de água no rio das Conchas fosse controlado somente pela força da maré, permitindo assim que as barras arenosas evoluíssem na desembocadura da foz do rio das Conchas, dificultando a passagem de embarcações de grande porte, como foi o desenvolvimento visto na comparação de 1989-1998 da margem Leste da foz do rio das Conchas (Figura 3.25), que teve migração para Noroeste de 234 m em 9 anos observados, o que dá uma velocidade média de deslocamento de 26 m/ano.

Já na margem Oeste da foz do rio das Conchas o esporão arenoso continua a se desenvolver com deslocamento total de 310 m entre os anos de 1989-1998, dando cerca de 34 m/ano a velocidade média de deslocamento da parte mais extrema do esporão arenoso (Figura 3.25). Esse esporão arenoso diferentemente das áreas localizadas mais a Leste da costa monitorada possui o sentido de migração contrária das demais, onde migram de Oeste para Leste. Isso se deve as correntes invertidas geradas pelos vórtices ocasionados pelo fluxo do rio Assu. Como noutros lugares da região monitorada, os esporões arenosos tendem a surgir e a desaparecer, como ocorreu nos anos de 2000-2001 e 2001-2002 (Figura 3.25).

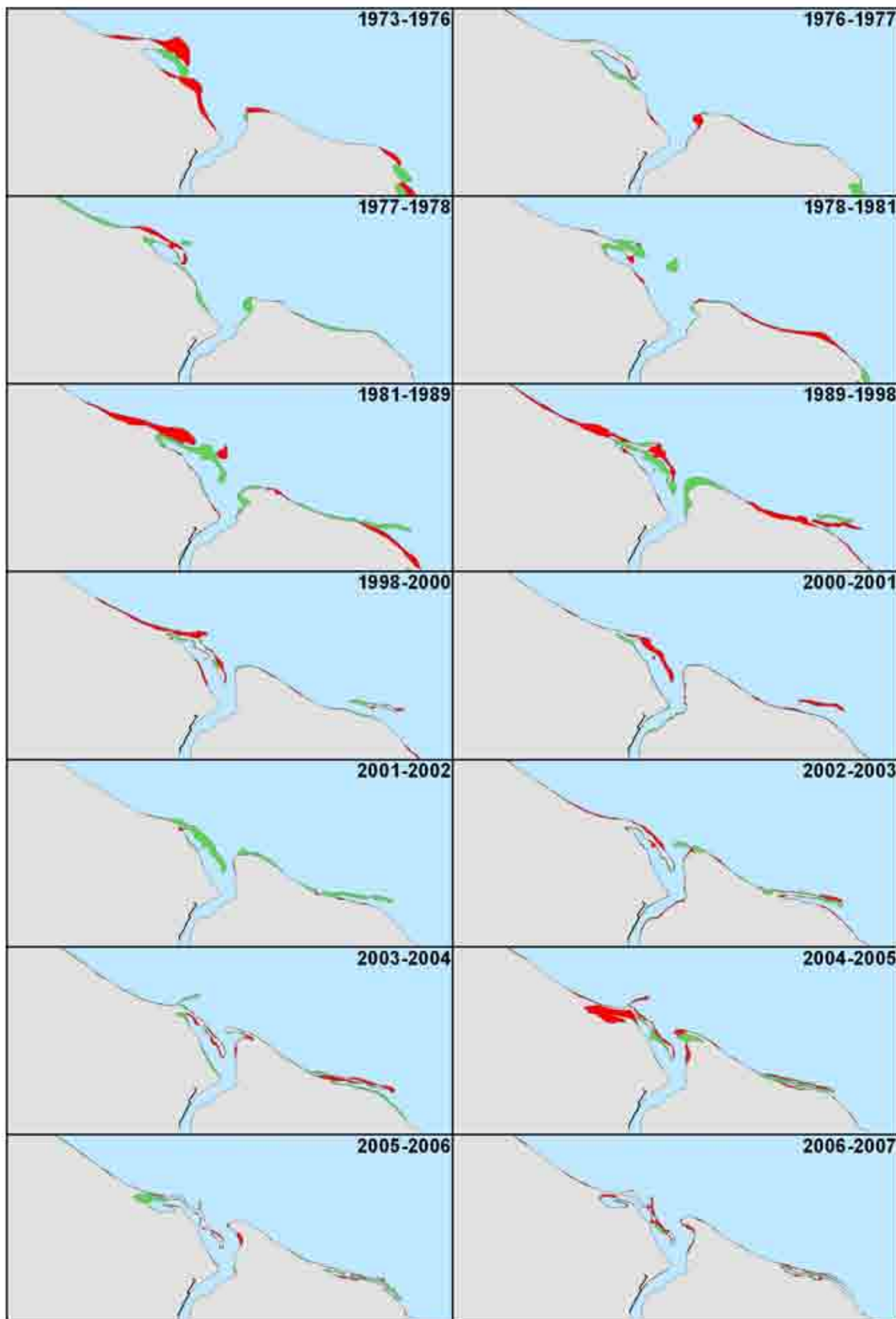


Figura 3.25 – Análise da modificação da linha de costa pelo cruzamento das áreas de datas distintas (1973 a 2007), obtendo áreas de erosão (em vermelho) e acreção (em verde). Em cinza representa as áreas sem modificação.

O balanço sedimentar para a década de 70 seguiu o mesmo padrão positivo na outras áreas críticas avaliadas, destacando o período de 1976 a 1978 pelo o estado de deposição intenso, onde finaliza como em estado de equilíbrio (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a classificação quanto a Taxa de Erosão (A/E) para Porto do Mangue.

Década	70				80	90		2000							
	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	
P Mangue	Erosão (E)	664522	148906	132050	318257	630981	658819	300992	392219	31697	315923	200295	519549	133479	239525
	Acreção (A)	555784	413645	415734	334847	703613	456277	119113	176275	447743	228013	266657	218477	225075	57815
	Razão A/E	0,84	2,78	3,15	1,05	1,12	0,69	0,40	0,45	14,13	0,72	1,33	0,42	1,69	0,24
	Classificação	ER	DI	DI	EQ	DP	EI	EI	EI	DI	ER	DP	EI	DP	EI

A década de 80 é marcada pelo estado de deposição, mas quase que em equilíbrio, como no resultado obtido no final da década de 70 (1978-1981). Este quadro se modifica durante toda a década de 90 e início do ano 2000 (Tabela 3.8). Ao longo do anos de 2000 a predominância do efeito erosivo é mais evidente, mesmo tendo em alguns períodos o balanço sedimentar em estado de deposição (2003-2004 e 2005-2006) e marcado pelo forte efeito deposicional no período de 2001-2002 (Figura 3.26).

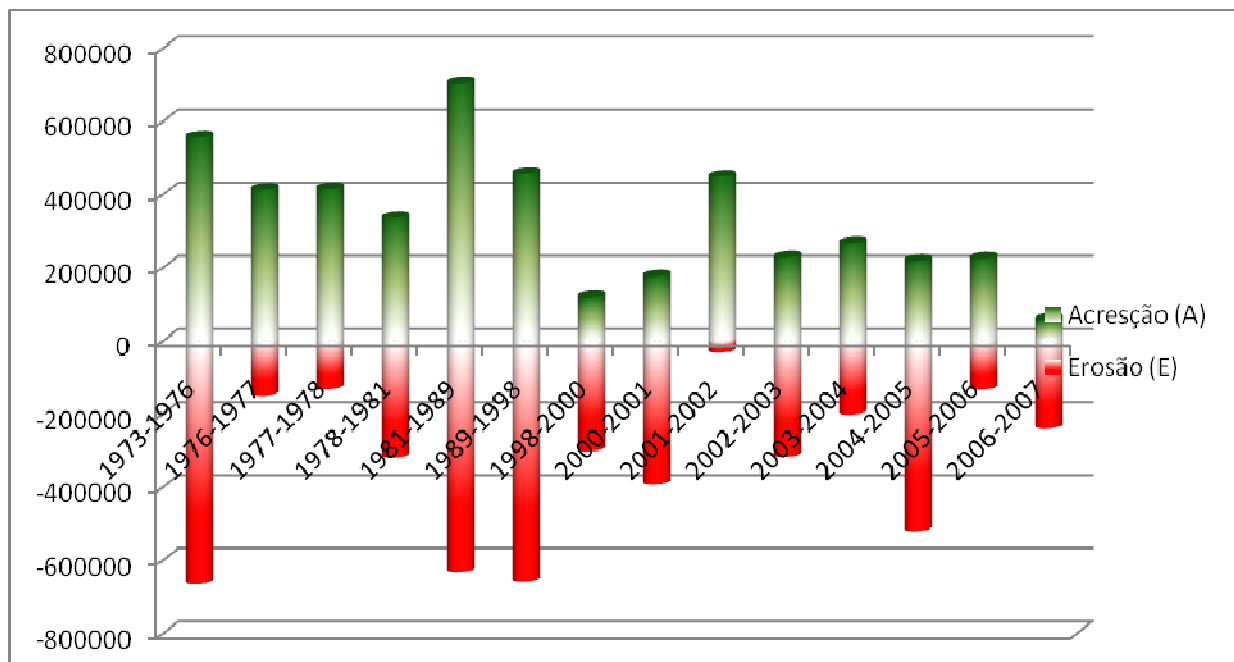


Figura 3.26 – Gráfico mostrando o balanço sedimentar para cada intervalo de tempo avaliado no cruzamento das linhas de costa de 1973 a 2007 para Porto do Mangue.

III.4 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Observando a dinâmica costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, pela avaliação de 6 áreas críticas pré-selecionadas, quanto as modificações no posicionamento da linha de costa a partir do uso de imagens orbitais para um período de 34 anos de monitoramento, verificou-se diferenças no balanço sedimentar para cada área avaliada. Porém, quando tratamos essas áreas como um sistema único, o comportamento do balanço sedimentar se reflete como uma média obtida para o litoral como um todo. Para tal, foi calculado a taxa de deposição e a taxa de erosão pela área ganha ou perdida, dividida pelo quantidade de dias, de acordo com o intervalo de tempo na comparação (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 – Valores das áreas (em m²) de erosão (E) e acreção (A) obtidos no cruzamento das linhas de costa, e a Taxa de Erosão (E/P) e a Taxa de Deposição (A/P) para toda região monitorada, onde P é o período em dia.

	1973-1976	1976-1977	1977-1978	1978-1981	1981-1989	1989-1998	1998-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007
Acreção (m²)	2404661	3109020	4136491	3451107	4842268	3444188	1189131	2173301	1757939	1400600	2846753	1618879	969878	636242
Erosão (m²)	1827727	2258672	2050379	3022048	12243056	3747114	1872245	2700333	1006721	1714601	1450742	1321869	1043680	1674010
Período (dia)	1026	459	279	1019	2893	3519	624	408	320	352	495	390	338	182
Taxa de Deposição (m²/dia)	2344	6773	14826	3387	1674	979	1906	5327	5494	3979	5751	4151	2869	3496
Taxa de Erosão (m²/dia)	1781	4921	7349	2966	4232	1065	3000	6618	3146	4871	2931	3389	3088	9198
Balanço Sedim.	1,32	1,38	2,02	1,14	0,40	0,92	0,64	0,80	1,75	0,82	1,96	1,22	0,93	0,38

Os fatores que condicionaram a essas mudanças na linha de costa no decorrer dos 34 anos avaliados, que podem ser vários como: o controle estrutural, que faz com que esta região seja única em todo o Estado do Rio Grande do Norte, contendo no seu litoral ilhas barreiras e esporões arenosos, por estar encaixado na estruturação da Bacia Potiguar; os processos hidrodinâmicos diferenciados pela morfologia do fundo marinho, que também é dinâmico; a elevação do nível médio dos mares, que é um processo global e que existem registros tanto progradação e regressão da linha de costa noutros períodos

mais remotos (Bezerra *et al.*, 1998 e Caldas *et al.*, 2006). No entanto, nenhum trabalho relacionou os efeitos dos processos decorrentes do El Niño e La Niña nas modificações da linha de costa para a área em estudo.

O El Niño é um fenômeno causado pelo aquecimento das águas do Pacífico além do normal e pela redução dos ventos alísios na região equatorial (Figura 3.27). La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao El Niño, e que se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical (Figura 3.27). Em ambos os fenômenos a principal característica é a capacidade de afetar o clima a nível mundial através da mudança nas correntes atmosféricas. O principal impacto promovido pelo El Niño no Nordeste brasileiro é a seca severa e prolongada. Já no fenômeno La Niña, o impacto ocorrido no Nordeste brasileiro são as fortes chuvas ocorridas durante todo o seu período de atuação.

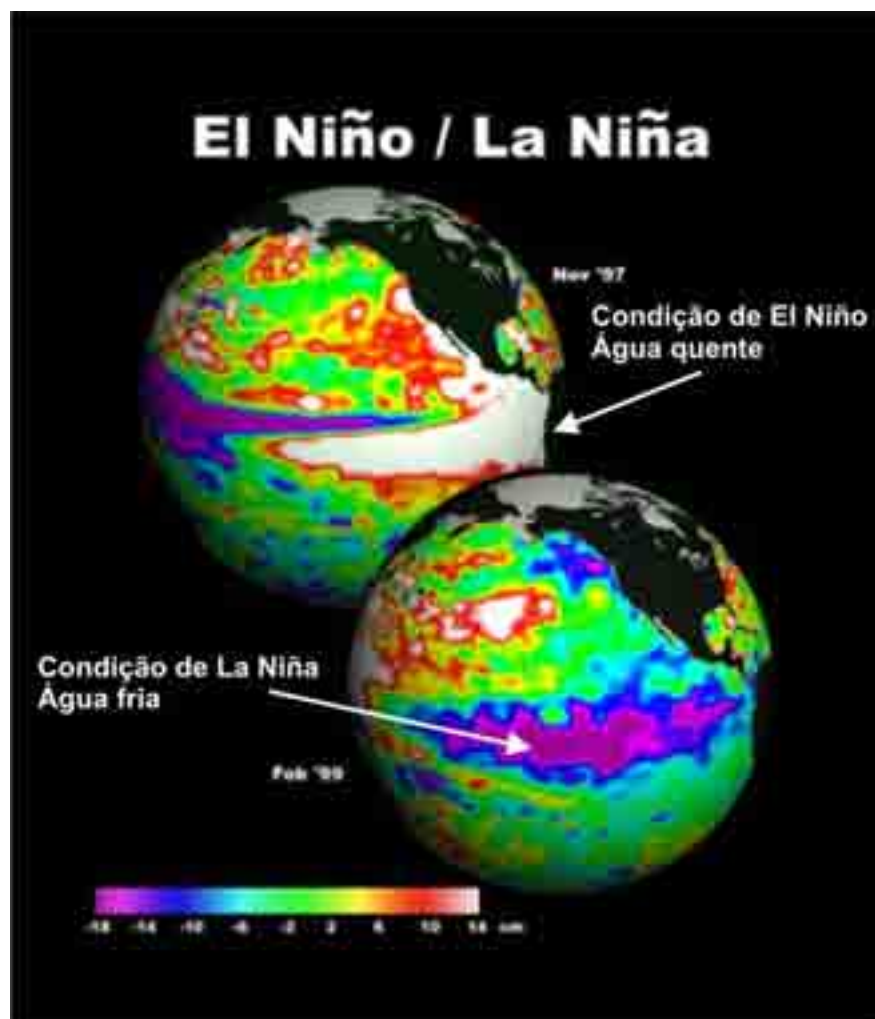


Figura 3.27 – Representação da variação da temperatura das águas oceânicas para condição do El Niño e para condição La Niña.

A frequência da ocorrência dos dois são diferentes, o El Niño ocorre periodicamente com variação de 1 a 10 anos entre cada ocorrência, e La Niña têm frequência de 2 a 7 anos, todavia tem ocorrido em menor quantidade que o El Niño durante as últimas décadas. Além do mais, os episódios La Niña têm períodos de aproximadamente 9 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais que 2 anos. O fenômeno do El Niño vem sendo registrado desde 1877, tendo alcançado seu pico no período de 1997 a 1998, quando houve o maior número de catástrofes no mundo todo. O termo para se referir ao El Niño é a sigla “ENOS” de “El Niño Oscilação-Sul” que designa a interação atmosfera-oceano, associada às alterações nos ventos alísios e nos padrões normais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

Logo, fazendo uma analogia dos dados de El Niño e La Niña de 1950 a 2007, disponibilizados no site da NOAA (<http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>) (Figura 3.28), com os dados do balanço sedimentar obtidos neste trabalho, pôde-se relacionar no geral que nos momentos que ocorreram o fenômeno El Niño o balanço sedimentar tende a ser positivo e quando ocorrem o fenômeno La Niña o processo se inverte, fazendo com que o balanço sedimentar fique como negativo pelo efeito erosivo promovido neste período.

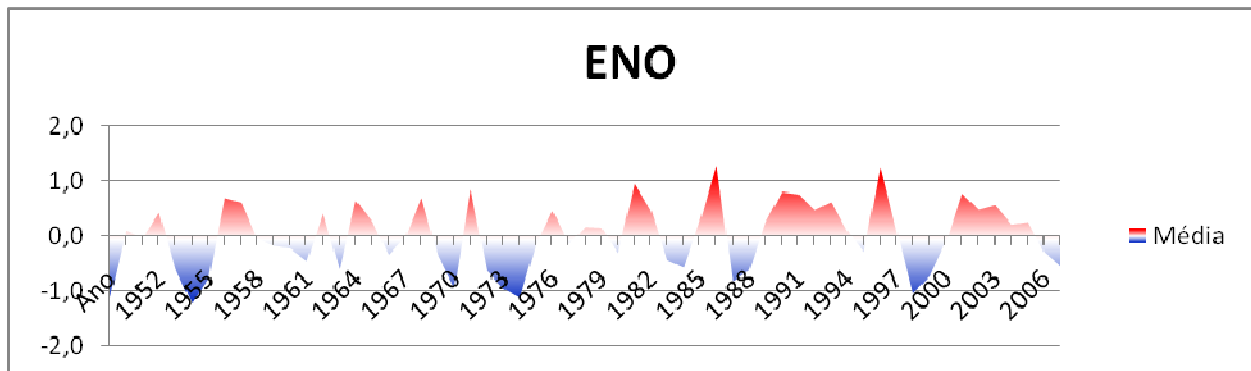


Figura 3.28 – Representação gráfica da variação do efeito El Niño e La Niña durante o período monitorado de 1950 a 2007. A condição do El Niño é representado em vermelho e a condição La Niña é representado em azul.

Para se entender melhor o motivo dessa relação durante o fenômeno La Niña basta imaginar os processos de circulação do ar como se fosse um ventilador. Esses processos são mais fortes na região equatorial do planeta, logo se o ventilador é ligado com força máxima irá fazer com que ele produza ventos mais intensos, ou seja, são gerados ventos alísios mais intensos, que partem do Oriente para o Ocidente. Com o

aumento da força dos ventos alísios, e aumento proporcional das forças das ondas e das correntes marinhas, o que promove o aumento da erosão costeira e as modificações na morfologia da linha de costa para a região estudada. Além do aumento da energia dos ventos, também se tem no mesmo período o aumento na intensidade e na quantidade de chuvas, o que representa um aumento do volume de água pela descarga d'água no mar oriundas dos rios da região.

Analisando os dados obtidos com a análise multitemporal da linha de costa ficou constatado que durante toda a década de 70 a deposição de sedimento predominou por este período, favorecendo a progradação descrita por Bagnoli (1988) para região da ilha barreira da Ponta do Tubarão. A deposição de sedimentos arenosos é quase uma constante neste período nas 6 áreas críticas avaliadas (Figura 3.29). Comparando com os dados de ENOS para esta década denota que em grande parte deste período houve oscilações de El Niño para La Niña, mas que o primeiro foi quase que uma constante em boa parte da década de 70. Registros de imagens orbitais antes de 1973 que pudessem avaliar o período mais forte da La Niña inexistem para toda região de estudo.

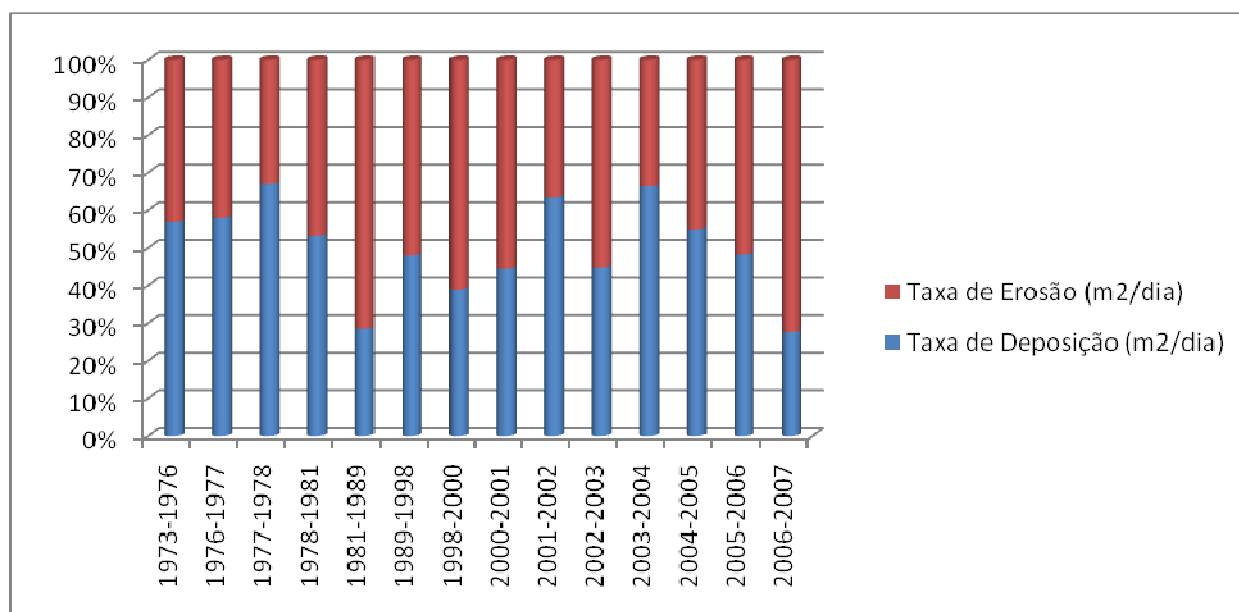


Figura 3.29 – Representação gráfica da Taxa de Erosão e da Taxa de Deposição para o intervalo de anos usados para monitorar a evolução da linha de costa de 1973 a 2007.

A década de 80 ficou registrada como um período negativo para o balanço sedimentar da região monitorada como um todo. Porém, vale salientar que a ausência de mais informações prejudica este tipo de informação, que carecia de mais dados para

aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos. No entanto, nesta década é marcado por dois períodos de forte energia do fenômeno El Niño, intercalados com outros dois fenômenos fortes de La Niña. Quem se sobre saiu? Pelo balanço sedimentar, tudo indica que os efeitos de La Niña foram mais fortes do que os efeitos provocados pelo El Niño.

Na década 90, assim com na de 80, ocorre uma deficiência de dados que pudessem dar maior confiabilidade às informações obtidas. Entretanto, pela análise multitemporal da linha de costa, obteve-se o balanço sedimentar como sendo de certa forma positivo onde, conforme o monitoramento dos ENOS feito pela NOAA, nessa década o fenômeno El Niño foi prolongado, corroborando assim com o resultado positivo para o balanço sedimentar (Figura 3.28 e Figura 3.29).

Nos anos 2000, a quantidade de informações favorecem a comparação e a validação dos dados quando são analisados de forma comparativa ao balanço sedimentar obtido neste período com os ENOS. Verifica-se que o início dos anos 2000 é marcado pelo forte incidência do fenômeno El Niño, mas que no decorrer dos anos enfraquece passando com o fenômeno nos anos de 2006 e 2007 (Figura 3.29). Analisando o balanço sedimentar para a região monitorada, verificou-se que os dados corroboram no entendimento de que quando o fenômeno El Niño está atuante o balanço sedimentar tende a ser positivo. O contrário acontece quando o fenômeno La Niña está atuante, que proporciona o aumento do efeito erosivo na região, deixando o balanço sedimentar deficitário.

Outras observações devem ser feitas para o entendimento das modificações na linha de costa para o litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, como a interferência antrópica na região, que amplificou o efeito erosivo com instalações e construções de grande engenharia, tanto na orla costeira como no interior do continente e à margem dos principais afluentes. Exemplo disso foram as barragens e os diques de contenção de água, as modificações dos cursos d'água, que interferiram globalmente no sistema, como a construção da barragem Engenheiro Armando Ribeiro no Município de Assu/RN. Essa barragem conteve o fluxo natural das águas do rio Piranhas-Assu.

A força da corrente de vazante do rio Piranhas-Assu fazia com que todo sedimento em suspensão oriundo do continente fosse despejado no mar, antes da obra de contenção, depositando todo material carregado pelo rio na plataforma continental ou mesmo ao longo da costa, servindo como material fonte de recarga. Este problema se repete em vários outros rios da região costeira do Nordeste brasileiro, o que impede que as fontes de sedimentos provenientes do continente cheguem ao litoral, fazendo com que o balanço sedimentar tenha como resultado final o déficit sedimentar agravado no decorrer dos anos.

A Área 6 em Porto do Mangue, reflete o efeito negativo desta ação antrópica, na qual analisando os dados multitemporais da linha de costa verificou-se que na década de 70 o balanço sedimentar ficou positivo, com estado de deposição mantido até a década de 80, possivelmente relacionado ao grande fluxo de sedimentos trazidos pelo rio Assu, formando a pluma sedimentar em sua foz. Depois da década de 90, o saldo passou a ser negativo no litoral, resultado que pode ser relacionado como reflexo direto da construção da barragem Armando Ribeiro. Outro problema ocasionado pela barragem para mesma área é o assoreamento do rio que perdeu a energia de vazante e ampliando o controle pelas forças das marés, o que permitiu a geração de esporões em sua foz.

Outro exemplo negativo da ação antrópica foi a construção do píer pela PETROBRAS na região da praia da Soledade (Áreas 3 e 4) que causou grandes modificações na linha de costa no decorrer dos anos em que foi instalado e mesmo depois de sua retirada. Tais efeitos negativos ainda são sentidos na região monitorada, onde a erosão passa a ser predominante na região, com grandes perdas de área a partir do ano de 1989, período após a instalação do píer, que servia como auxílio no transporte de materiais para as plataformas.

Este píer favoreceu o acúmulo de sedimento na ilha barreira da Ponta do Tubarão, durante o período em que ficou operante (1985 a 1996), pois sua base feita por estacas serviu para o aprisionamento dos sedimentos em fluxo sob ele. Contudo, sua desobstrução fez com que o canal de maré, que passava abaixo dele, fosse deslocado em direção ao continente, favorecendo o aumento do efeito erosivo da praia de Soledade, e sobretudo nos locais onde estão instalados os poços dos campos produtores de petróleo.

Esta mudança fez com que este comportamento perdurasse até os dias atuais, não permitindo que o sedimento oriundo do transporte costeiro da ilha barreira da Ponta do Tubarão alcançasse a praia de Soledade, por causa do canal de maré que corre paralelamente a costa.

A construção dos gabiões na praia de Camapum (Área 5) foi outra interferência de engenharia mal sucedida na tentativa de conter o avanço do mar sobre o continente. O posicionamento dos gabiões não favoreceu nem para o engordamento da praia e nem mesmo para impedir a erosão costeira, ocasionando ainda o aumento no efeito erosivo na região. Nenhum tipo de estudo foi feito para o entendimento dos processos costeiros e da hidrodinâmica atuante na área em questão antes da instalação dos gabiões na orla de Camapum, o que pôs em risco todo investimento na infra-estrutura da zona turística.

Outro fator que contribui para modificações da linha de costa é o compartimento estrutural, promovido pela estruturação geológica da Bacia Potiguar, que rege um forte controle na deposição dos sedimentos costeiros na região analisada. A principal estrutura que controla a sedimentação recente da Bacia Potiguar é composta pelo sistema de falhas de Carnaubais (NE-SW) e de Afonso Bezerra (NW-SE), identificados por Fonseca (1996) e Dantas (1998), por meio do mapeamento de lineamentos.

O controle das falhas sobre a sedimentação é corroborada por alguns eventos identificados ao longo do litoral, como na Área 4, na praia de Soledade, que pôde-se verificar a evolução de um novo esporão arenoso formado com a abertura de um novo canal na área monitorada. Do lado a Leste se tinha deposição de sedimentos, enquanto na porção mais Oeste da mesma área a erosão era predominante. Visitas de campo com o propósito de investigar o motivo da deposição de um lado e erosão do outro foram realizadas. Nada de incomum era visto na superfície que pudesse reter grande quantidade de sedimento no local, enquanto que do outro lado a erosão era intensa. Entretanto, com levantamento sistemático com perfis de GPR (*Ground Penetrating Radar*) pôde-se constatar a existência de falhas que alcançavam a superfície, algumas delas provavelmente profundas se comparadas à geometria de falhas antigas, interferindo na deposição dos sedimentos costeiros (Figura 3.30). Logo, a interpretação feita foi de que

falhas de componente normal regem a sedimentação da área em questão, onde uma estruturação em dominó define melhor este controle exercido na região.

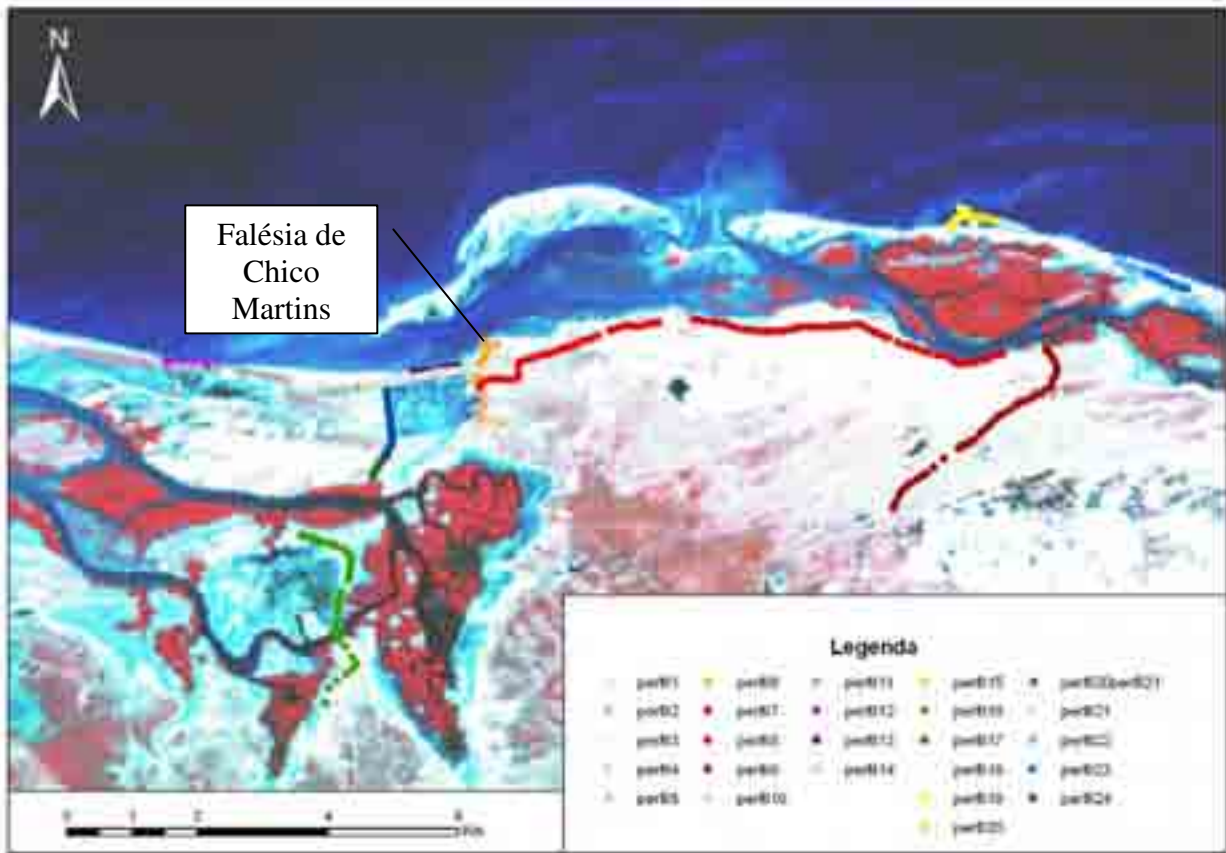


Figura 3.30 – Perfis executados pelo levantamento geofísico por meio do GPR ao fundo a imagem Landsat de 1989.

Outra evidência dessa estruturação é a migração da ilha barreira da Ponta do Tubarão (Área 3), que logo após a porção frontal à falésia de Chico Martins, posição que marca o limite de uma das falhas que cortam a área, a migração da ilha barreira muda de direção e inflexiona de Nordeste para Sudoeste, mesma direção da falha de Carnaubais. Tais falhas estariam com a mesma componente de direção paralelamente a falha de Carnaubais.

A deriva litorânea associada ao balanço sedimentar permitem o prognóstico da vida útil das ilhas barreiras e/ou esporões arenosos. Como todo sedimento tende a migrar de Leste para Oeste, pode-se afirmar que pela quantidade de sedimento movido da Área 1 (praia do Minhoto) prevê-se o comportamento do restante do litoral ao menos para os próximos 10 anos. Logo, em 2007, último ano analisado, a praia do Minhoto passou por um forte processo de sedimentação, por mais que o balanço sedimentar seja negativo; o

sedimento que atinge o continente tende a fomentar o restante da área que está em déficit sedimentar, abastecendo a Área 2 (barra do Fernandez) durante por um período de no máximo 10 anos.

Já a barra do Fernandez (Área 2) é uma área complexa, onde nos 34 anos avaliados (1973-2007) o déficit sedimentar perdurou, fazendo com que o balanço sedimentar fosse negativo na comparação para este período. Este fato compromete o restante das áreas analisadas, pois o volume de sedimento que está migrando não será o suficiente para prolongar a vida útil da barra do Fernandez. Atualmente a barra do Fernandez está fragmentada em duas partes, sendo que uma parte tende a ser a nova ilha barreira da Ponta do Tubarão na Área 3.

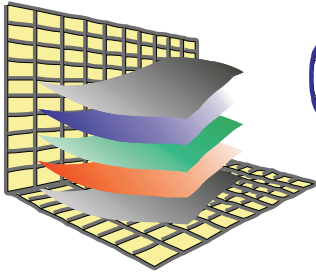
A ilha barreira da Ponta do Tubarão, vista pela feição atual, tende a desaparecer por completo antes dos próximos 10 anos. Esta perda já foi prevista por Souto (2004) e a tendência é que desapareça por completo nos próximos 7 anos. A ilha tende a ser substituída por uma nova ilha que se desvinculou do continente, como visto em 1978, migrando em direção à posição que a antiga ilha ocupava. Esta substituição se dará de forma gradual, o que pode comprometer ainda todo o desenvolvimento do estuário de Barreiras/Diogo Lopes. Caso a ilha barreira da Ponta do Tubarão e a barra do Fernandez desapareçam, a zona estuarina protegida estará submetida à intensa ação das ondas e das correntes oriundas do mar aberto. Esta configuração tende a acontecer caso o balanço sedimentar seja negativo por mais de 10 anos.

A praia de Soledade (Área 4) está comprometida pelos processos hidrodinâmicos originados pelo canal de maré que ameaça essa praia. Atualmente, o comportamento do canal, que corre paralelamente a praia, faz com que na maré de vazante do estuário Barreiras/Diogo Lopes se intensifique a erosão na região. Outro problema é que o sedimento que não alcança a costa, oriundo da ilha barreira da Ponta do Tubarão, deixa a plataforma mais rasa, fazendo com que a onda chegue com mais energia na costa, amplificando o efeito erosivo. A tendência é que esta costa volte à configuração da década de 60, não tão similar pela interferência que o homem pode impor na proteção dos seus interesses.

Pela análise temporal realizada, a Área 5 (Praia de Camapum) é uma das áreas onde o efeito erosivo se instalou por um período, mas que tende a mudar pelos próximos 10 anos pela migração da ilha barreira do Corta Cachorro, oriunda da praia de Soledade. Um grande volume de sedimentos deslocado faz com que pelo ao menos uma parte dele venha a se depositar na área em questão, e/ou promover uma defesa contra ação de ondas, onde essa ilha barreira tende a migrar paralelamente a costa, servindo como uma proteção natural aos processos costeiros.

A Área 6 (Porto do Mangue) é uma das regiões mais complexas, não pelo efeito erosivo exclusivamente, mas também pelo comprometimento da área quanto ao assoreamento do rio das Conchas. As atividades de navegação pode ser comprometida ao longo dos anos, reduzindo o trânsito para pequenas embarcações. Como o fluxo será mais denotado pelo controle das forças da maré, o fechamento do rio em curto prazo é improvável, mas esta possibilidade não pode ser descartada em longo prazo. Caso o fluxo natural do rio das Conchas não volte ao normal, esta tendência deve se firmar pelo comprometimento da navegação para os próximos 10 anos.

Na análise multitemporal comparativa da linha de costa nos 34 anos (1973-2007) de todas as áreas críticas, o resultado geral obtido para região é de intensa erosão para o balanço sedimentar, mesmo sendo a década de 70 e o último período de comparação (2001-2007) marcado pelo estado de deposição intensa. No entanto, este ganho recente não foi suficiente para compensar as fortes perdas obtidas nos 20 anos de comparação anteriores (1981-2001), onde a erosão atingiu o valor de 0,40 no cálculo do balanço sedimentar. Subtraindo-se os valores integrados de erosão e de acreção para cada período analisado, verificou-se um déficit de área de 395,3 ha, que corresponderia a cerca de 366 campos de futebol (medida oficial de 120 x 90 m) para perda de área nesses 34 anos analisados.



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV:

ANÁLISE EVOLUTIVA EM 3D DAS ILHAS BARREIRAS DA REGIÃO DE MACAU/RN, NORDESTE BRASILEIRO, USANDO MODELOS DIGITAIS DE TERRENO MULTITEMPORAIS

IV.1 - INTRODUÇÃO

O litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, no extremo Nordeste brasileiro, é caracterizado por possuir esporões arenosos e ilhas barreiras ao longo da costa entre os municípios de Porto do Mangue e Galinhos. Esta paisagem é modificada constantemente por diversos fatores que atuam em conjunto na região, onde estão tanto condicionados por processos locais (processos hidrodinâmicos), bem como por processos de ordem global (processos de circulação oceânica).

No acompanhamento desta evolução costeira, o uso de produtos de sensores remotos possibilitou monitorar as modificações ocorridas ao longo dos anos pelo mapeamento da linha de costa, obtendo como resultado o cálculo das áreas de erosão e acreção. No entanto, a idéia de volume de sedimentos transportado era difícil de calcular pela limitação da resolução temporal das imagens disponíveis neste monitoramento.

Para se chegar ao valor aproximado do volume de sedimentos depositado e perdido na região monitorada, num curto período de tempo, era necessário construir modelo digital do terreno (MDT) para datas distintas que pudessem dar uma noção próxima do real da evolução costeira. Logo, o uso do GPS (*Global Positioning System*) de alta precisão é uma ferramenta que permite a geração de MDT a partir da coleta de coordenadas (X, Y, Z) por meio de pontos amostrados.

A quantificação dos valores volumétricos das áreas acrescidas e erodidas das ilhas barreiras monitoradas pela comparação dos MDT é de fundamental importância para o

entendimento da evolução costeira para região de Macau/RN, na qual possibilita avaliar a massa sedimentar que vem sendo deslocada em curtos intervalos de tempo.

IV.2 – CONCEITUAÇÃO SOBRE MDT

O Modelo Digital do Terreno (MDT) é uma representação digital do terreno (Weibel & Heller, 1991), ou seja, é uma estrutura numérica de dados que representa a distribuição espacial da altitude da superfície do terreno num modelo tridimensional. O seu uso foi bastante difundido pela ciência Geodésica nas últimas décadas com a geração de diversos produtos para o mais diverso uso, tais como, mapas de declividade, curvas de nível, visualização em 3-D, etc., na tentativa de exemplificar num modelo computacional o que existe de real.

O terreno real descreve uma função matemática contínua bivariável, representada pela seguinte função, $z = \zeta(x, y)$, que corresponde as cotas topográficas do terreno. Para se gerar um MDT aplica-se sobre um domínio espacial D, pela seguinte função: $MDT = (D, \zeta)$. Normalmente no MDT a função resolve-se segundo intervalos discretos de x e y pelo que é composto por um número finito de cotas, logo sua função é representada da seguinte forma:

$$MDT = (D, \zeta)_{\Delta x, \Delta y}$$

As cotas organizam-se em estruturas de dados vetoriais e matricial (ou raster). As estruturas de dados vetoriais representam entidades ou objetos definidos pelas coordenadas dos nós e vértices, como na geração de modelo TIN. Já as estruturas de dados raster representam localizações que têm atribuído o valor médio da variável para uma unidade de superfície ou quadrícula, gerando uma imagem como forma de representação do MDT.

As estruturas de dados vetoriais representados pelo modelamento TIN é caracterizada por se compor de uma rede de triângulos adaptada ao terreno, que interligam os nós de amarração das cotas (Figura 4.1). Esses triângulos são irregulares e

definem-se mediante a três vértices, que compõe uma superfície, na qual cada vértice representa-se por um terno de coordenadas (x, y, z).

As estruturas de dados raster é mais complexa que a anterior, onde o MDT é formado por uma matriz regular sobreposta ao terreno, na qual cada célula ou quadrícula da matriz representa uma unidade de superfície, ou seja, cada célula é associada ao valor médio de altitude da área coberta no terreno. O cálculo é feito por meio de distâncias ponderadas, onde a altitude de cada célula (Z_j) estima-se em função dos dados vizinhos com um peso inversamente proporcional à distancia (Figura 4.2), que pode ser representada pela seguinte equação:

$$\hat{z}_j = \frac{\sum_i \frac{z_i}{d_{ij}^\beta}}{\sum_i \frac{1}{d_{ij}^\beta}}$$

Onde,

β é o expoente de ponderação;

Z_i é a altitude do ponto i ;

d_{ij} é a distância entre os pontos i e j .

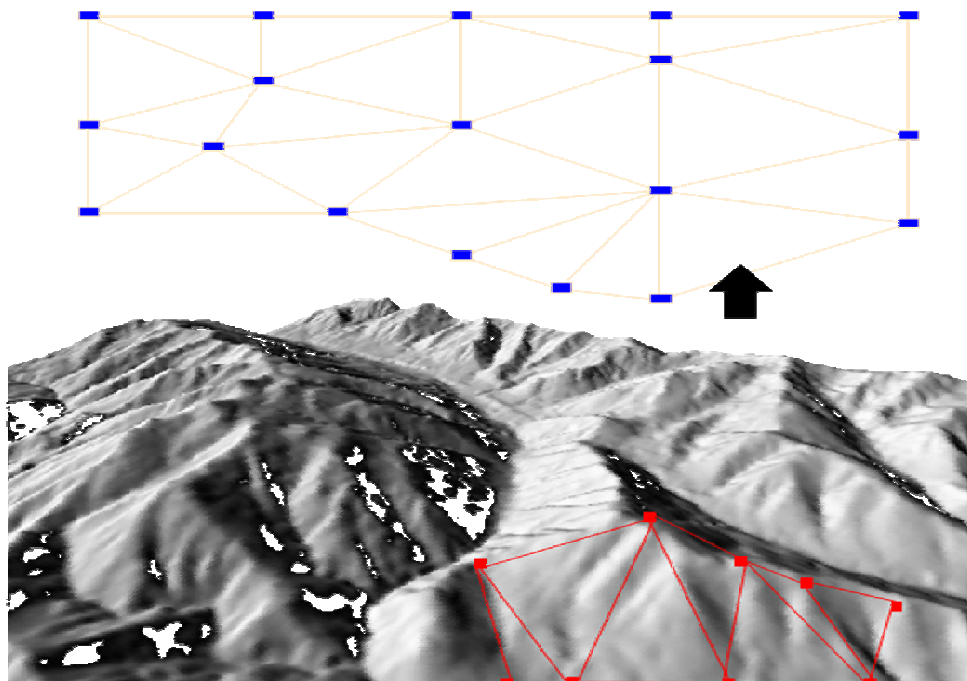


Figura 4.1 – Triangulação da rede de pontos da superfície real para geração de um modelo TIN.

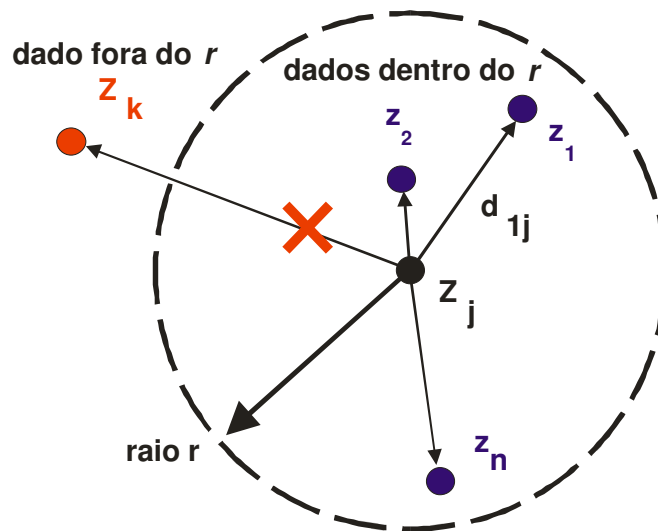


Figura 4.2 – Representação do cálculo para as distâncias ponderadas para geração de dados raster.

O MDT permite obter diferentes tipos de representação da superfície, exemplificando a forma do relevo do terreno. A estrutura de dados raster é a forma de representação mais próxima do real e a que foi utilizada para comparação dos MDT gerados em ambiente SIG.

IV.3 – MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA

O GPS é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DOD, *Department of Defense*), com o intuito de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Ele resultou da fusão de dois programas financiados pelo governo norte-americano para desenvolver um sistema de navegação de abrangência global: *Timation* e *System 621B*, sob responsabilidade da Marinha e da Força Aérea, respectivamente. Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu dos mais variados segmentos da comunidade civil (Monico, 2000).

Para o levantamento das informações altimétricas do terreno foi utilizado um aparelho GPS de medição geodésica do tipo L1/L2. O GPS utilizado foi da marca

Topcon, do modelo Hiper Lite Plus (Figura 4.3), que utiliza duas antenas moduladoras nas portadoras L1 e L2 (Figura 4.4). Essa mensagem consiste em *bits* de dados que contém os parâmetros orbitais, dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites, etc. As informações espaciais e temporais contidas nas mensagens de navegação são determinadas pelo segmento de controle do GPS em terra.



Figura 4.3 – Equipamento GPS do tipo L1/L2 da marca Topcon.



Figura 4.4 – Demonstração do uso do GPS das antenas *base* e *rover*.

Com base no uso de um GPS de alta precisão, pôde-se instalar um marco geodésico com peso de 80 kg, enterrado quase que por completo e possui uma chapa de ferro com a identificação do mesmo (Figura 4.5). Por meio da técnica de pós-processamento dos dados coletados em campo foram corrigidos via RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), que são estações de coleta de dados diários da constelação de satélites que transmitem o sinal de localização GPS. As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade.

Foram utilizados os dados das estações de Crato/CE e de Recife/PE para se fazer as correções das coordenadas da base principal (ou marco principal) para toda região monitorada. Essas estações estão num raio de pouco mais de 400 km de distância da base principal (Figura 4.6), por esse motivo durante o levantamento o equipamento ficou ligado ininterruptamente por 5 horas para coletar as informações dos satélites, para que o erro do ponto fosse menor que 1 cm, e onde o erro poderia se alcançar a casa de 1 mm para os três eixos das coordenadas levantadas. Os dados RBMC são obtidos nos site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) gratuitamente, que se usando o *software* Topcon Tools se puderam integrar os dados de campo com os dados das estações, onde o tempo de coleta das estações recobre o tempo de levantamento em campo, permitindo assim a correção das coordenadas da base principal com precisão milimétrica.



Figura 4.5 – (A) Instalação da antena *base* a partir do marco de 80 kg. (B) Destaque da chapinha metálica com a identificação do marco instalado.

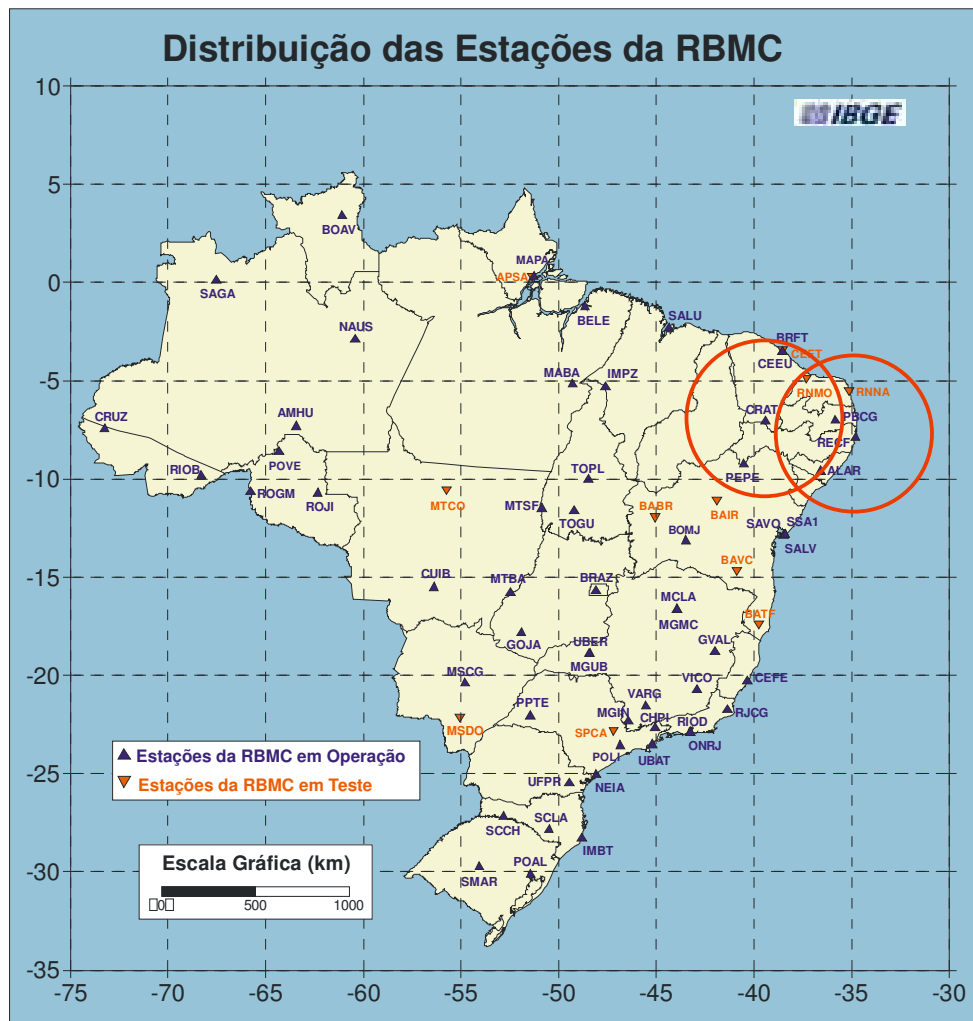


Figura 4.6 – Mapa com a localização das estações da RBMC em todo o Brasil e os círculos vermelho mostrando o raio de cobertura das estações utilizadas (Fonte: IBGE, 2009).

A partir desta base principal foram instaladas em cada uma das ilhas barreiras monitoradas 2 marcos geodésicos, confeccionados com um tubo de PVC de 20 cm de diâmetro por 1,2 m de comprimento, preenchido por cimento. Tais marcos foram instalados usando a mesma técnica de pós-processamento, porém a correção era feita a partir da base principal, onde a antena base fica coletando os dados dos satélites no ponto principal e a antena *rover* fica coletando mesmos dados nos marcos instalados nas ilhas. A instalação desses marcos foi importante para o trabalho de monitoramento das ilhas (Figura 4.7), pois serviam como ponto de referência geodésico, na qual poderiam fazer revisitas para coleta de dados, tendo as coordenadas destes marcos conhecidos para o levantamento, independente de qualquer data ou de algum problema que poderia impedir a aquisição dos dados das estações RBMC.

Outra técnica de levantamento usando o GPS do tipo L1/L2 é o chamado levantamento RTK (*Real Time Kinematic*), que consiste de um levantamento contínuo das cotas altimétricas com precisão geodésica. Neste procedimento, os dados (x, y, z) que são coletados num caminhamento teriam a marcação das coordenadas com erro inferior a 30 cm no eixo z (altitude) e inferior a 10 cm nos eixos xy (plano horizontal), o que representaria muito bem um levantamento de precisão para uma escala de trabalho de detalhe. Essa marcação pode ocorrer por tempo (em segundos) ou por deslocamento centimétrico a métrico.

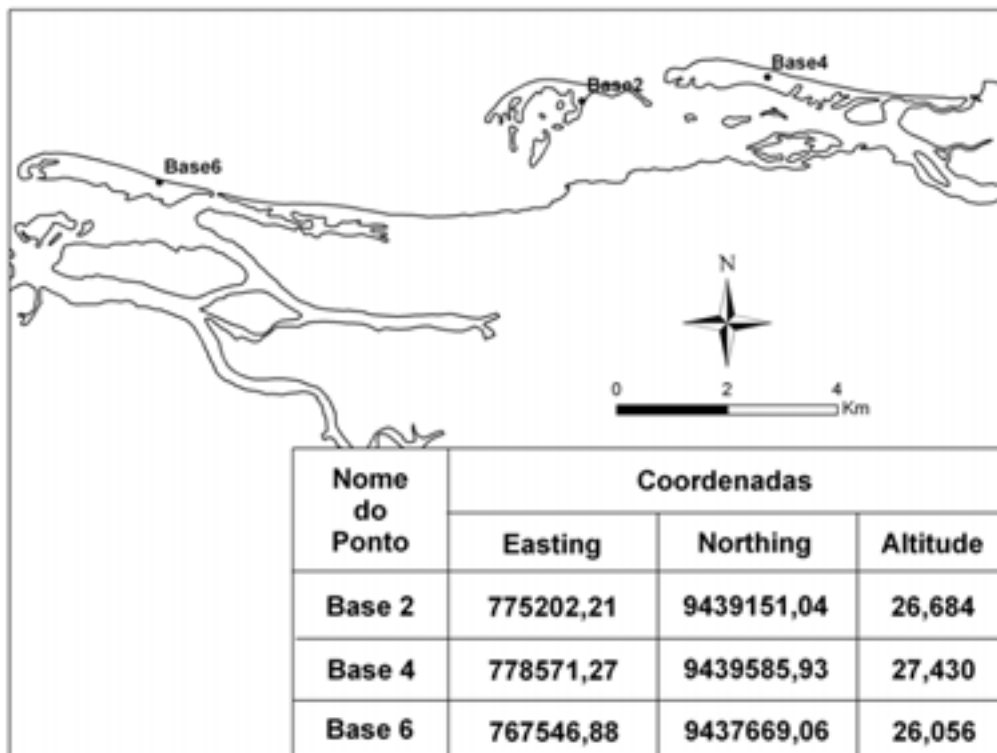


Figura 4.7 – Localização de alguns marcos instalados nas ilhas barreiras, região de Macau/RN, e suas respectivas coordenadas.

Para o levantamento executado em campo, o GPS do tipo L1/L2 foi configurado para coletar as coordenadas (x, y, z) a cada 1 m percorrido, sendo a velocidade média de deslocamento empregada foi importante, pois se for acima do que o tempo necessário para calcular a localização do ponto amostrado, o equipamento não executa a leitura das coordenadas. Antes de completar 1 m de distância percorrida o equipamento executa três leituras para se ter a média da coordenada (x, y, z) do ponto, mas caso não tenha tempo

hábil a informação não é coletada pelo equipamento, emitindo um efeito sonoro para alertar do problema.

O levantamento dos dados ocorreu nos meses de fevereiro e março do ano de 2007, com uso de uma moto, para maior agilidade e rapidez no levantamento em campo. A antena base foi instalada no marco de PVC instalado nas ilhas barreiras. A outra antena (antena *rover*) foi fixada na moto (Figura 4.8).

A estratégia de levantamento tomava partida na fase de Lua, pois a depender de que fase estivesse a variação da amplitude de maré poderia comprometer o levantamento de campo. Logo, para uma melhor demarcação do terreno emerso a ser varrido pelo GPS, foi adotado o levantamento sempre na fase de quadratura, onde a amplitude de maré varia o mínimo possível. Como o foco de interesse era de cobrir toda a área emersa das ilhas barreiras, outro padrão foi adotado durante o levantamento, demarcar inicialmente o perímetro das ilhas. E para tal demarcação foi usado como limite da linha de costa as áreas úmidas e secas ao longo da praia (Figura 4.9), mesma metodologia adotada no levantamento da linha de costa usando imagens orbitais.



Figura 4.8 – Antena *base* ao fundo sendo ligada e a antena *rover* instalada na moto, sendo configurada para o levantamento RTK.



Figura 4.9 – Limite da área úmida e seca utilizada para balizar o levantamento usando o GPS Geodésico.

Feito o perímetro da ilha, o último passo a ser seguido foi o levantamento sob a forma de *zig-zag*, na tentativa de gerar uma malha regular para melhor amostragem do relevo do terreno (Figura 4.10), pois na área ocorrem dunas, além de porções vegetadas que foram obstáculos ao levantamento. Como a forte dinâmica costeira das áreas faz com que as modificações na morfologia da linha de costa sejam muito rápidas e até mesmo do relevo topográfico, não foi possível um planejamento de malha regular que pudesse ser revisitada noutro período distinto. Portanto, por vezes o levantamento era feito quase que aleatoriamente, mas gerando uma malha regular.

Como os dados obtidos no levantamento RTK já estavam corrigidos automaticamente com uma precisão centimétrica, os dados eram importados para um ambiente SIG, usando-se o *software* ArcGIS® v9.2, onde foi inserida uma grade regular de pontos com uma cota atrelada num mesmo valor, representando assim o nível médio dos mares (NMM). Essa grade foi dimensionada para que pudéssemos acompanhar o deslocamento das ilhas durante os períodos avaliados.

A primeira interpolação dos pontos de coordenadas coletados foi pelo modelamento TIN, usando as ferramentas do *software* ArcGIS® v9.2 (3D Analyst), na qual se pôde observar a irregularidade do terreno e os pontos que tiveram maior deficiência de área amostrada. Para amenizar as distorções ocorridas pela limitação do levantamento em campo, principalmente no perímetro das ilhas, foram inferidos pontos com cotas de amarração balizadas pelo NMM. No modelo TIN foi possível observar mais claramente a plataforma terrestre da PETROBRAS (7-SER-13D-RNS), instalada no ano de 2004 e fechada no início do ano de 2006 (Figura 4.11).

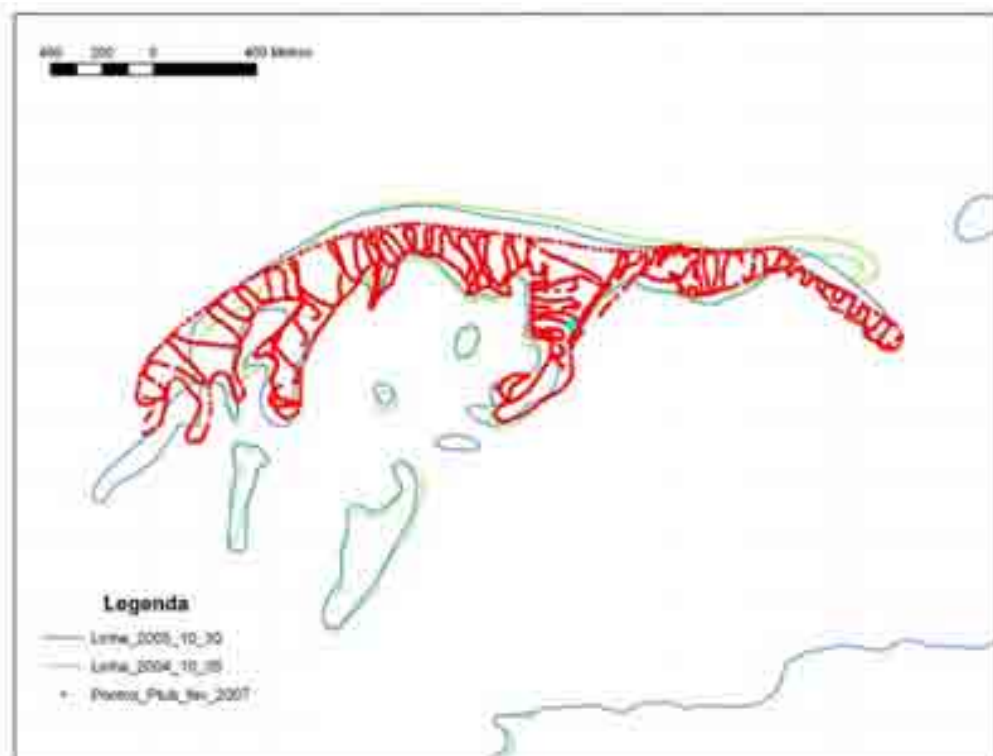


Figura 4.10 – Mapa de pontos de coordenadas amostrados pelo levantamento GPS, tipo RTK. Os pontos mais externos correspondem ao perímetro do levantamento e internamente o levantamento em “zig-zag”. Mais as linhas de costa obtidas pelas imagens orbitais.

Os dados foram interpolados novamente pela ferramenta do *software* Target for ArcGIS®, que proporcionou uma gridagem dos pontos pela mínima vizinhança, gerando uma estrutura de dados *raster*, o dito MDT, que representaria uma superfície próxima do real, mais suavizada (Figura 4.12). Depois de gerados os MDT para cada período levantado os dados foram intersectados, usando-se novamente as ferramentas do *software*

ArcGIS® v9.2 (3D Analyst), onde foram obtidos os valores de volume em m³ para erosão e acresção, no acompanhamento da evolução costeira na região monitorada.



Figura 4.11 – MDT pelo método TIN com a ilustração da plataforma terrestre abandonada devido ao efeito erosivo que atingiu esta área no início do ano de 2006 e isolou a base do campo petrolífero para acesso por estrada.



Figura 4.12 – Modelamento *raster*, representando o terreno na forma mais suavizada.

IV.4 – RESULTADOS E ANÁLISE MULTITEMPORAL DAS ILHAS BARREIRAS OBTIDOS NA INTERSECÇÃO DOS MDT

Depois dos dados interpolados e gridados, gerando os MDT em ambiente SIG, foram integrados entre si pelo método de intersecção das superfícies geradas. A intersecção foi possível pelas ferramentas que compõem o *software* ArcGIS® v9.2, que a partir disso pôde-se obter os valores de volumes de perda (erosão) e de ganho (acresção) em m³. A partir destas informações geradas pôde-se quantificar e analisar o volume de sedimentos movimentado num intervalo de tempo de 30 dias, acompanhando assim as modificações empregadas pelos processos costeiros na região.

As ilhas barreiras avaliadas foram ilha da Ponta do Tubarão, que serve de barreira de proteção para o estuário de Barreiras-Diogo Lopes contra ação das ondas e a ilha do Corta Cachorro, que antes era um esporão arenoso que se rompeu no início do ano de 2006 pela ação das ondas e marés, passando a ser uma ilha barreira desde então e servindo como proteção para o pequeno estuário formado e o rio Casqueira.

Ilha Barreira da Ponta do Tubarão

Na ilha barreira da Ponta do Tubarão, pela intersecção obtida nos MDT, verificou-se que ocorreu saldo positivo no balanço sedimentar, que foi de 91.710 m³ para o período de fevereiro a março de 2007, onde o volume de ganho de sedimentos é maior do que o volume de perda de sedimentos (Figura 4.13), representando mais de 55% a diferença dos resultados obtidos. As áreas de ganho sedimentar estão situadas em geral na porção mais a Sudoeste da ilha (Figura 4.13), representando a migração da ilha barreira pelo transporte de sedimentos condicionado pela deriva litorânea regional, que segue o sentido principal de Leste para Oeste, como observado no levantamento das linhas de costa para região (Figura 4.14). Ganhos no interior da ilha também foram

observados, bem como em algumas porções de áreas mais protegidas pela ação das ondas e das correntes de marés, possibilitada pelo transporte eólico dos sedimentos arenosos.

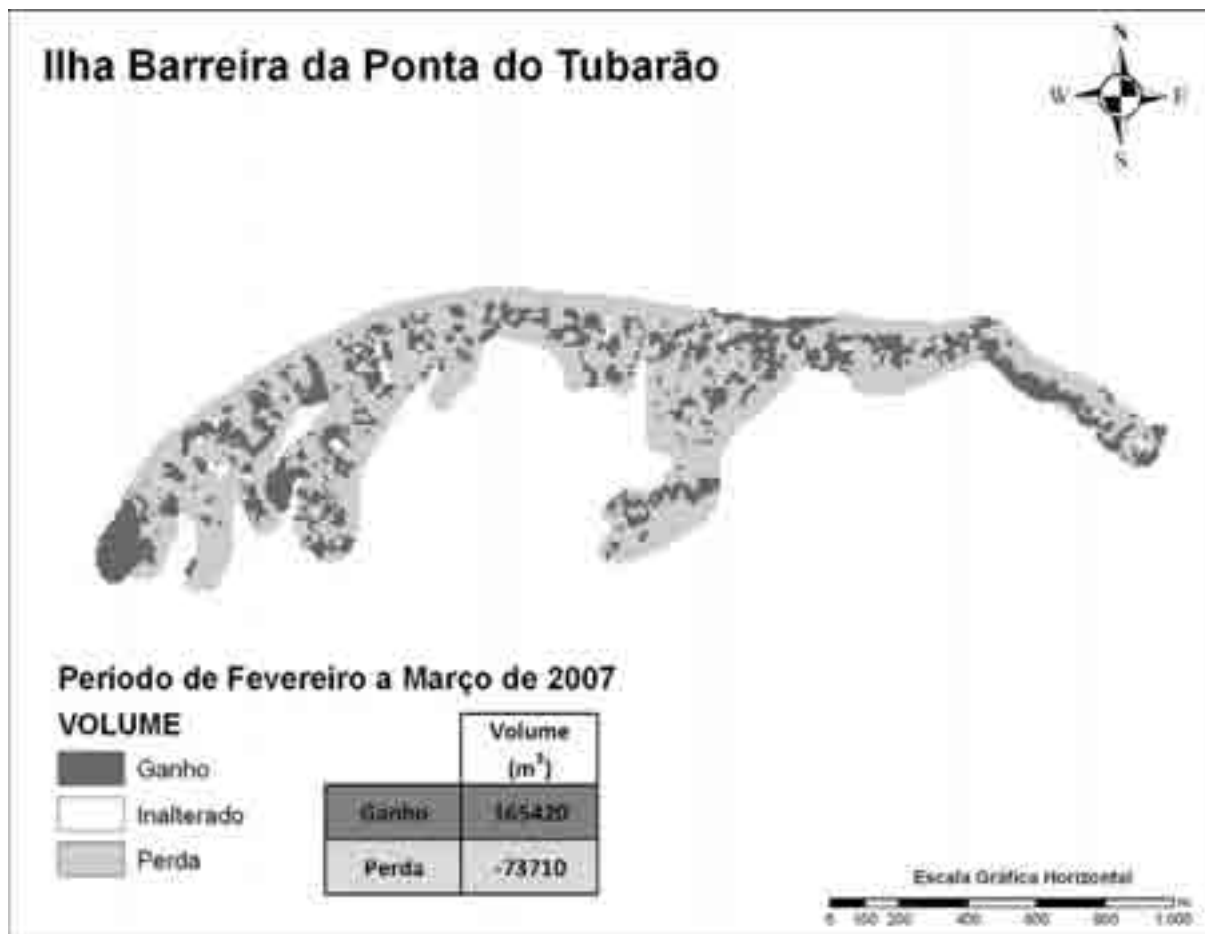


Figura 4.13 – Cruzamento dos MDT de fevereiro e março de 2007, representando os volumes de ganho e perda da ilha barreira da Ponta do Tubarão.

O volume de perda foi menor que o volume de ganho para o período analisado, no entanto a área de atuação erosiva é maior que a área de acresção. O deslocamento da ilha barreira da Ponta do Tubarão foi perceptível, principalmente na sua porção mais no extremo Oeste, onde migrou cerca de 175 m, seguindo o transporte dos sedimentos no sentido de Leste para Oeste, num período de 30 dias de intervalo de tempo de um levantamento para outro. No extremo Leste da ilha, a migração foi quase que imperceptível, tendo seu deslocamento com cerca de 24 m.

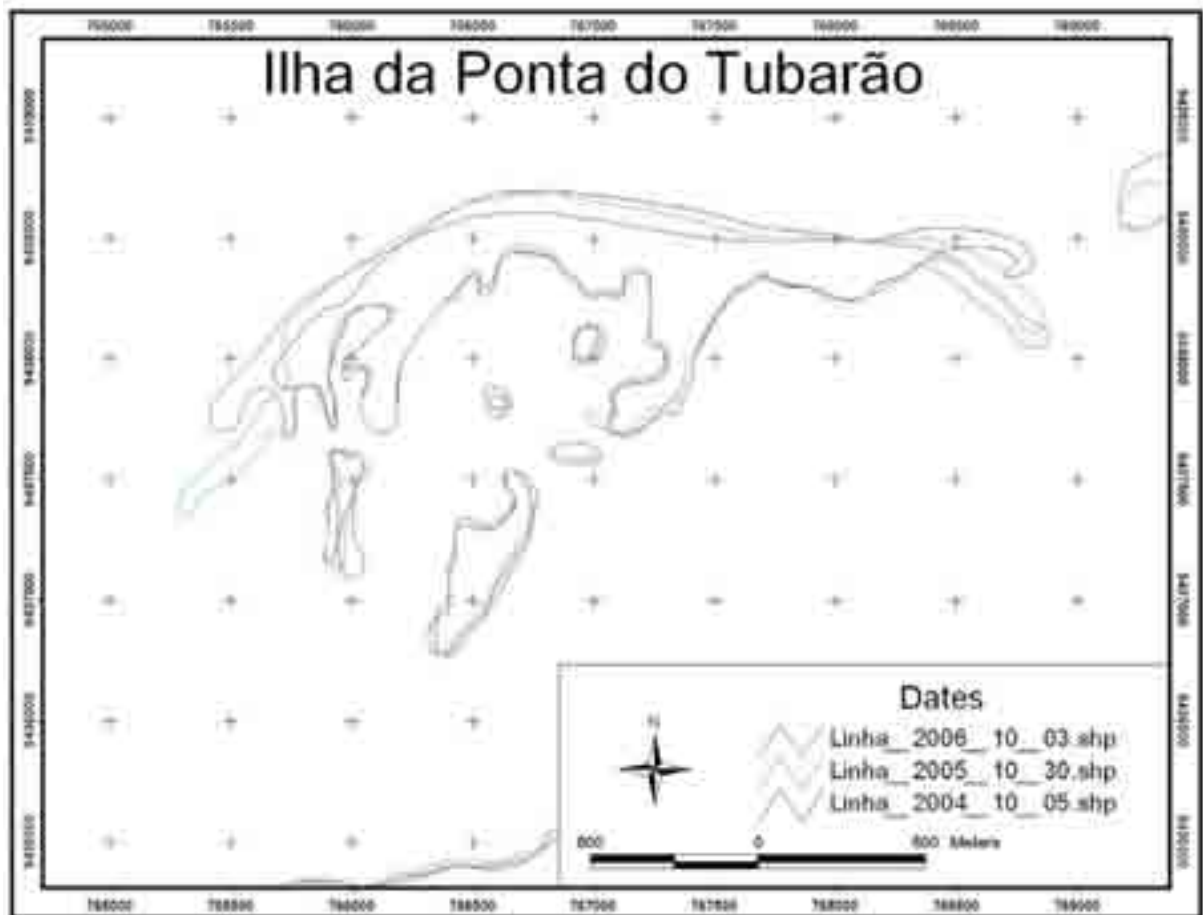


Figura 4.14 – Linhas de costa obtidas por meio de imagens orbitais para os anos de 2004, 2005 e 2006, e a constante migração de Leste para Oeste.

Ilha Barreira do Corta Cachorro

A ilha barreira de Corta Cachorro na comparação entre os meses de fevereiro e março de 2007 mostrou que o balanço sedimentar foi positivo (Figura 4.15), com saldo positivo de 8.966 m³ de volume de sedimentos acrescido neste período. O ganho de volume ocorreu mais na porção interna da ilha, bem como na sua porção no extremo Leste, que teve um ganho considerável de massa sedimentar pela formação de pequenos campos de dunas no seu interior.

As perdas ocorreram mais nas porções mais externas da ilha barreira de Corta Cachorro, ou seja, nas zonas de praia, principalmente na parte da ilha que está mais sujeita a ação das ondas e maré. As perdas registradas na porção interna da ilha podem

ser relacionadas com a migração dos pequenos campos de dunas, que tende a seguir a principal direção dos ventos no sentido de Nordeste para Sudoeste, jogando o material na parte mais protegida da ilha. Por isso que nesta parte da ilha, por onde passa o rio Casqueira, a perda de sedimentos foi bem menor do que na outra parte que é atingida pela ação das ondas (Figura 4.15).

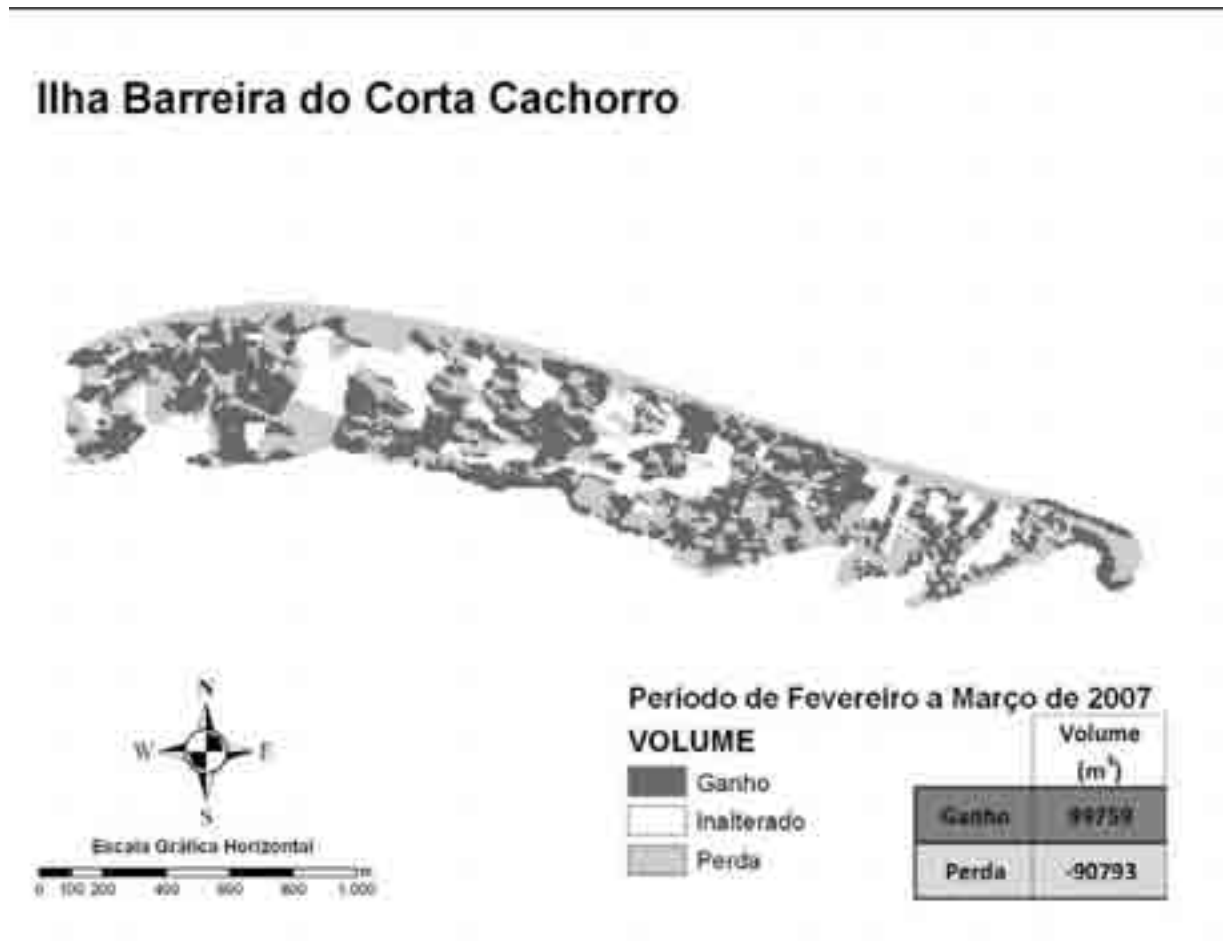


Figura 4.15 – Cruzamento dos MDT de fevereiro e março de 2007, representando os volumes de ganho e perda da ilha barreira de Corta Cachorro.

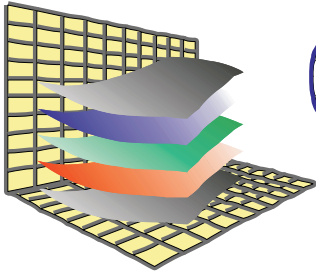
IV.5 – DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Pela resposta dos dados obtidos, o balanço sedimentar foi positivo para o intervalo de tempo no período de 30 dias. Tendo a ilha barreira da Ponta do Tubarão com ganho de volume de sedimentos superior a 100% com relação ao valor de perda de

sedimentos. Já a diferença entre o ganho e a perda sedimentar para ilha barreira de Corta Cachorro foi de quase 10%. Este ganho de volume sedimentar pode estar relacionado ao período favorável para acúmulo de sedimentos na região, pelo ao menos em alguns locais, pois tudo depende também da fonte oriunda em que os sedimentos são carreados.

No entanto, as ilhas ganharam volume neste período, mas perdem em área pelo deslocamento exercido pelas forças hidrodinâmicas atuantes na região. Esta “engorda” das ilhas pode ser relacionada ao transporte eólico, que carrega o material da faixa de praia para os interiores das ilhas, favorecendo em si a construção das dunas, onde podem alcançar uma altura de até 5 m em alguns pontos.

Este levantamento foi importante como ponto de partida no monitoramento das ilhas barreiras do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte para determinação do volume, pois elas servem como amparo para contenção das energias das ondas e marés a costa. A quantificação do volume permite compreender a massa sedimentar deslocada em curtos períodos de tempo com auxílio do GPS Geodésico, que é um equipamento de precisão e de custo relativamente baixo frente a outras tecnologias de maior precisão, como por exemplo o uso do LIDAR (*LIght Detection And Ranging*). Os equipamentos e os métodos empregados atenderam bem as necessidades imediatas, servindo como uma nova ferramenta para monitoramento da região em questão.



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V:**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO SISTEMA ILHA BARREIRA COM BASE NA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, GEOCRONOLÓGICOS E SENSORIAMENTO REMOTO NO LITORAL SETENTRIONAL DO RN – BACIA POTIGUAR EMERSA****V.1 - INTRODUÇÃO**

O sistema de ilhas barreiras ocorre somente numa parte do litoral setentrional para o Estado do Rio Grande do Norte, mais exatamente entre os municípios de Porto do Mangue e São Bento do Norte, que se situam entre duas principais falhas estruturais da Bacia Potiguar, as falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra (Fonseca, 1996; Dantas, 1998), na qual possuem direções NE-SW e NW-SE, respectivamente (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Mapa da representação dos dois principais sistemas de falhas estruturais: Afonso Bezerra e Carnaubais (Fonte: Valentim da Silva, 2008).

Estudos geológicos ao longo da Bacia Potiguar denotaram ocorrências desse sistema de ilhas na Formação Açu, uma das unidades litoestratigráficas mais pretéritas da Bacia Potiguar (e.g. Vasconcelos *et al.*, 1990; Bagnoli, 1992; Córdoba, 2001; Reyes-Pérez *et al.*, 2002). Com base nestas informações foram utilizados produtos de sensores remotos que possibilitassem o reconhecimento das paleo-ilhas barreiras aflorantes ao longo desta região. A integração de todos os dados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) possibilitou a distribuição espaço-temporal das ilhas barreiras ao longo do litoral estudado.

V.2 - CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A Bacia Potiguar é composta por rochas sedimentares marinhas e continentais de idade Cretácea e desconformemente por depósitos continentais Mioceno-Plioceno referentes da Formação Barreiras (Sugio & Nogueira, 1999). Depósitos do Holoceno (aluvional, eólico e marinho) recobrem as unidades mais antigas ao longo dos vales de rios e das zonas costeiras.

A evolução tectônica da Bacia Potiguar está relacionada aos esforços extensionais durante o Cretáceo Inferior (Neocomiano), que culminou no rifteamento e em seguida a separação das placas tectônicas sulamericana e africana (Matos, 1987 e 1992). Segundo Cremonini *et al.* (1996), a superposição de fases de rifteamento gerou um complexo padrão de falhamentos NE-SW e NW-SE na Bacia Potiguar (Figura 5.2). Tais falhamentos, foram posteriormente mapeados pelos grandes lineamentos identificados por meio dos levantamentos geofísicos e de sensoriamento remoto (Fortes, 1982; Hachspacker *et al.*, 1985). A partir da identificação desses grandes lineamentos, Fonseca (1996) e Dantas (1998) destacaram dois conjuntos de lineamentos principais, adotando o termo Sistema de Falhas de Carnaubais para direção NE-SW e Sistema de Falhas de Afonso Bezerra para direção NW-SE (Figura 5.1).

Caldas (1996) levantou a possibilidade da relação intrínseca entre a geometria do litoral de Caiçara e São Bento do Norte com a direção da Falha de Carnaubais, sendo

sedimentar para região costeira e conseqüentemente sua morfologia, na qual ocorre a formação de esporões arenosos e de ilhas barreiras situados somente entre esses dois sistemas de falhas.

V.3 - SISTEMAS DE ILHAS BARREIRAS

As ilhas barreiras são cordões ou esporões arenosos que se rompem na ligação com o continente ou se formam com a migração de bancos arenosos ao longo da costa, protegendo lagunas e/ou estuários da ação de ondas e correntes derivadas do mar. Sua formação depende da componente de energia de onda com a energia de maré (Hayes, 1979). De acordo com a classificação de Hayes (1979) a região é dominada por mistura de energias (Figura 5.4 e Figura 5.5a), mas em alguns áreas, principalmente quando está em formação o domínio é por ondas (Figura 5.5b).

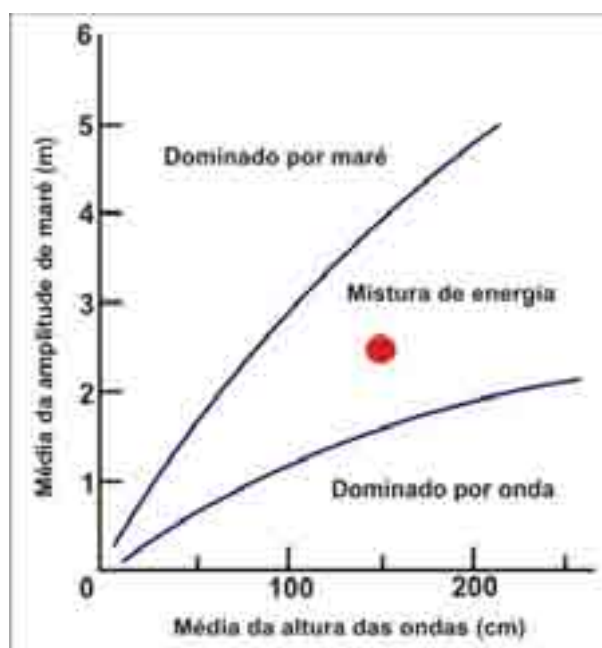


Figura 5.4 – Gráfico de Hayes, que defini o domínio da força de formação das ilhas barreiras. O ponto em vermelho configura a predominância na região. (Compilado: Hayes, 1979).

No litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, apenas um trecho da costa de cerca de 75 km possui ocorrências tanto das ilhas barreiras como também dos

esporões arenosos, compreendidos entre os municípios de Porto do Mangue e São Bento do Norte.

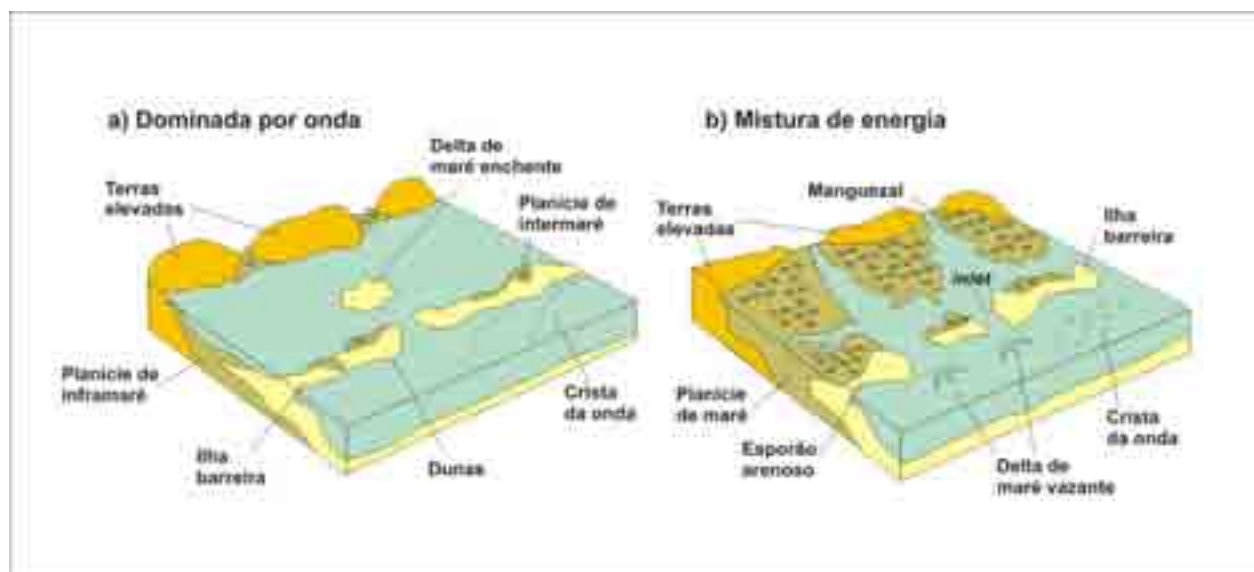


Figura 5.5 – Desenho esquemático da configuração do terreno de acordo com a intensidade da energia de onda versus da maré. (Modificado: Hayes, 1979).

Este ambiente é marcado por constantes mudanças em curtos intervalos de tempo, com destaque a ação erosiva, que vem sendo predominante nos últimos 15 anos (Souto, 2004), que destacou uma perda de aproximadamente 50% de área da Ilha Barreira da Ponta do Tubarão por meio de análise multitemporal. Outros autores (Barbosa *et al.*, 1999; Souza Filho, 2000; Lima *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2002; Souto, 2002; Amaro *et al.*, 2002; Vital, 2002; Alves *et al.*, 2003; Grigio, 2003; Vital *et al.*, 2006; Chaves, 2005) também contribuíram na análise multitemporal dos esporões arenosos ao longo da região estudada, onde atestaram a migração das mesmas no sentido predominante E-W e o efeito erosivo atuante.

Podemos também destacar os estudos da evolução costeira do Holoceno para região em questão (Silva, 1991; Caldas, 1998 e 2002; Caldas *et al.*, 2006) com a construção de perfis geológicos e datações geocronológicas, pelos métodos de datação do elemento C encontrados em restos de matéria orgânica e conchas. Esses estudos realizados pelo método de levantamento *vibracore* possibilitou a caracterização dos sistemas deposicionais marinhos mais pretéritos não aflorantes, bem como também a identificação da ocorrência de Sistema de Ilhas Barreiras de idade Neógeno ao longo da região estudada.

V.4 - NÍVEL RELATIVO DO MAR

Em se tratando da região costeira, deve-se considerar às flutuações dos níveis relativos do mar desde o Pleistoceno até o Holoceno, principalmente nos últimos 10.000 anos (Suguio, 1988), que tiveram um papel fundamental na evolução do relevo atual. Villwock *et al.* (1986) identificou quatro fases de acessão do nível do mar com relação ao nível atual marcados pelos sistemas de ilhas barreiras/lagunas, com sugestões de datas de 400.000 anos A.P., 325.000 anos A.P., e datadas os dois últimos eventos, 123.000 anos A.P. e 5.100 anos A.P., para a planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com Bezerra *et al.* (2003), o histórico da elevação do nível médio dos mares feito por outros autores (Bittencourt *et al.*, 1979; Suguio *et al.*, 1985; Peltier, 1998) para região da costa central brasileira é similar ao que ocorreu na costa potiguar (Figura 5.6), portanto o modelo sugerido por Suguio (2003) poderia ser bem aplicado para região costeira em questão.

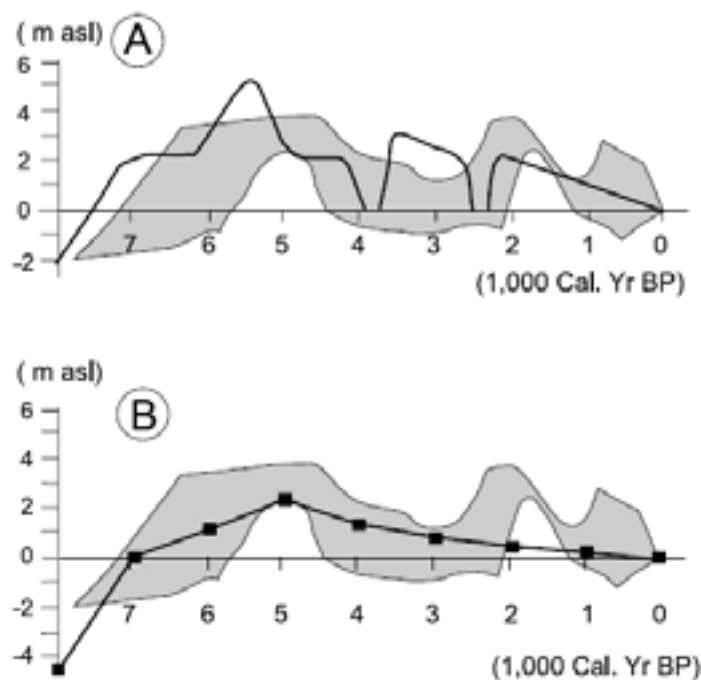


Figura 5.6 – Área cinza representa a curva de nível do mar para costa potiguar, que se assemelha (A) a curva relativa do nível do mar para costa central brasileira de Bittencourt *et al.* (1979) e Suguio *et al.* (1985) e (B) a previsão glacio-isostática de Peltier (1998). (Compilado: Bezerra *et al.*, 2003).

Baseado neste estudo Suguio (2003) criou um modelo de reconstrução dos níveis do mar pretéritos para costa oriental brasileira, a partir das curvas de variações dos níveis relativos do mar nos últimos 7.000 anos ao longo de vários trechos (Suguio *et al.*, 1985). Balizado nestas informações Suguio (2003) determinou que:

- a) 7.000 a 6.500 anos A.P. → o nível do mar foi ultrapassado pela primeira vez na seqüência holocênica do modelo de reconstrução dos níveis do mar;
- b) 5.100 anos A.P. → o nível do mar subiu entre 3 e 5 m do nível atual;
- c) 3.900 anos A.P. → o nível relativo do mar esteve abaixo do atual cerca de 1,5 a 2 m;
- d) 3.000 anos A.P. → o nível do mar subiu entre 2 a 3,5 m do nível atual;
- e) 2.800 anos A.P. → ocorreu novamente uma descensão do nível do mar com relação ao nível atual;
- f) 2.500 anos A.P. → última ascensão do nível do mar, de 1,5 a 2,5 m com relação ao nível atual.

Suguio & Martin (1978) também conseguiram datar em 123.000 anos A.P., o que seria a transgressão mais antiga datada, sendo denominada de Transgressão Cananeense ou como Penúltima Transgressão nas costas da Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco (Bittencourt *et al.*, 1979), com níveis de até 8 m acima do atual.

V.5 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No intuito de compreender as variações morfodinâmicas da área estudada foi adotado como ferramenta metodológica o uso das técnicas de geoprocessamento, com o qual, integrado ao levantamento de dados de campo e de dados pretéritos, foi possível mapear a evolução espaço-temporal da linha de costa pela distinção e individualização da evolução do Sistema de Ilhas Barreiras a partir do uso de produtos de sensores remotos e sondagens com datações existentes, montando assim um banco de dados integrados, o que possibilitou a elaboração de Mapas Espaço-Temporal.

A metodologia adotada envolve três etapas principais:

- a.) A primeira etapa consistiu numa pesquisa bibliográfica e cartográfica; ordenação, classificação e interpretação de dados pretéritos; análise de diversos trabalhos e artigos científicos com enfoque em processos costeiros, geologia, pedologia, geofísica, geomorfologia e geoprocessamento, visando uma melhor compreensão da área estudada num contexto global. Além disso, realizou-se a integração dos dados pretéritos em ambiente SIG, utilizando-se imagens orbitais multiespectrais e multitemporais: Landsat (1977, 1989, 1998), CBERS (2007) e fotografias aéreas e oblíquas dos seguintes anos: 1954, escala 1:40.000 e 1967, escala 1:70.000, o que possibilitou a geração de mapas evolutivos da linha de costa, das ilhas barreiras, dos canais de maré e das dunas móveis na escala de 1:50.000. Estas imagens passaram por um pré-processamento no *software* ER-Mapper[®] v.7.1, referente ao georreferenciamento e posteriormente foram realçadas pelas técnicas de PDI, sendo depois utilizadas para a elaboração dos mapas temáticos no *software* ArcGIS[®] v.9.2.
- b.) A segunda etapa refere-se aos trabalhos desenvolvidos em campo, que correspondem:
- (i) Sobrevôos de helicóptero de detalhe 450 pés de altitude (1.476 m), sobrevôos de helicóptero de panorâmica local com 800 pés de altitude (2.624 m) e sobrevôos de helicóptero de panorâmica regional 1500 pés de altitude (4.929 m);
 - (ii) Compilação, integração e interpretação de 3 perfis praias realizados por Chaves (2005) e 32 perfis do banco de dados da Petrobras nos anos de 2005 e 2006;
 - (iii) Levantamento altimétrico, georreferenciamento das sondagens e poços de dados pretéritos;
 - (iv) Levantamento de GPR na área costeira;
 - (v) E por fim, análise e levantamento de dados hidrodinâmicos (correntes, ondas e ventos), sedimentológicos, (sobretudo em períodos de maré de sizígia), que vem sendo desenvolvida e aperfeiçoada pelo grupo que compõe os laboratórios de Geoprocessamento (GEOPRO) e de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA) da UFRN.
- c.) Na terceira etapa, referente à etapa de escritório, foram integrados todos os dados em ambiente SIG para reconstrução do litoral, utilizando a locação espaço-temporal das ilhas barreiras identificadas. Onde a utilização desta ferramenta possibilitou integrar todas as informações geocronológicas realizadas por Silva (1991) e Caldas (2002) para as sondagens do tipo *vibracore* realizadas para região em questão, bem como a utilização de perfis de sondagens profundas, além dos mapas estruturais e o

levantamento do acervo histórico de sensores remotos, sendo realizada a análise e interpretação multitemporal para reconstrução da costa para esta região estudada para entendimento das mudanças ocorridas ao longo do tempo.

V.6 - REAVALIAÇÃO DOS DADOS ESTRUTURAIS

A estruturação rasa da Bacia Potiguar é pouco conhecida, onde os processos superficiais, como sedimentação e/ou erosão, ocasionam a intensa modificação da morfologia costeira em curtos intervalos de tempo ocorridas ao longo do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, principalmente no setor compreendido entre os municípios de Porto do Mangue e São Bento do Norte.

Estes processos são somente relacionados por vários autores ao efeito hidrodinâmico (ondas, ventos, correntes e marés), deixando de fora outros fatores que poderiam contribuir na morfodinâmica para região em questão. Logo, podemos questionar: Será que essas mudanças podem ser associadas somente ao controle hidrodinâmico? A estruturação da Bacia também não exerce controle nestas modificações superficiais? Quais outros fatores contribuem para esta modificação?

Por esses e outros questionamentos foram analisadas outras informações multidisciplinares que pudessem adicionar outras variáveis para o entendimento das modificações ocorridas nesta região estudada, como a elevação no nível médio do mar, que ocorre em cadeia global, e os próprios fatores estruturais na região.

No que se refere ao aspecto estrutural, a Bacia Potiguar se formou ao longo de um bloco basculado com a ocorrência predominante de subsidência, que pode ser corroborada com a identificação do Sistema de Ilha Barreira na Formação Açú de idade Cretácea (e.g. Vasconcelos *et al.*, 1990; Bagnoli, 1992; Córdoba, 2001; Reyes-Pérez *et al.*, 2002). Atualmente, esse Sistema ainda ocorre somente ao longo do Sistema de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra, mas em cotas totalmente diferentes. Esta movimentação não cessou como denotam os eventos sísmicos monitorados ao longo das últimas décadas

que confirmam a contínua atividade de algumas falhas e/ou reativação de outras (Bezerra, 2000).

A Neotectônica é a ciência que estuda os movimentos crustais recentes, desenvolvidos a partir do terciário superior e durante todo o quaternário (Suguió & Martín, 1996), esta ciência possibilita o entendimento da morfologia do relevo atual e das estruturas geológicas observadas (Lima, 2000). Logo, a aplicação deste estudo pode corroborar com a identificação da contínua movimentação anteriormente relatada, onde o basculamento do bloco tem como característica uma porção soerguida e outra porção em subsidência. Baseado nisso foram analisados uma série de estudos neotectônicos realizados na região em questão que pudessem caracterizar esta movimentação.

Bezerra *et al.* (1998) apontaram que a porção leste da Falha de Carnaubais esteve submetida a soerguimento nos últimos 5.000 anos, por meio de datações dos *beachrocks* e dos terraços marinhos pelo método ^{14}C , indicando deslocamento cerca de 4-5 m dos depósitos costeiros do Holoceno. No entanto, reavaliando os dados de Silva (1991) e Caldas (2002), que dataram informações similares com cerca de 7.000 anos, é possível comprovar a subsidência do bloco em direção a Falha de Afonso Bezerra, onde entre os dados levantados por Caldas (2002) e por Silva (1991) existe uma distância de mais de 40 km, onde o primeiro estaria próximo da Falha de Carnaubais, a 2 m da superfície, e o segundo estaria na planície do rio Piranhas-Açu, mais próximo da Falha de Afonso Bezerra, a 22 m da superfície. Logo, pode-se verificar um deslocamento mínimo de 20 m, sendo maior o deslocamento comparado ao que foi apresentado por Bezerra *et al.* (1998). Ou seja, se delimitarmos a Bacia Potiguar pelo Sistema de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra, a porção E da Bacia está sendo submetida a um soerguimento, enquanto que na porção W da Bacia está a uma subsidência do bloco.

Para entender esta estruturação foram analisadas as imagens orbitais, sobretudo o mapeamento de lineamentos, tomando como base os dados estruturais de Cremonini *et al.* (1996) e o perfil geológico de Silva (1991) (Figura 5.7), o que permitiu identificar blocos escalonados que corresponderiam a localização pelas ilhas barreiras do Fernandez, Ponta do Tubarão, Corta Cachorro e Camapum. Esses blocos escalonados poderiam estar relacionados com meio *grabens* formados pela acomodação da Falha de Carnaubais com

a estruturação similar a estrutura em dominó (Figura 5.8), sendo parte de uma estruturação maior de *grabens* e *horsts*.

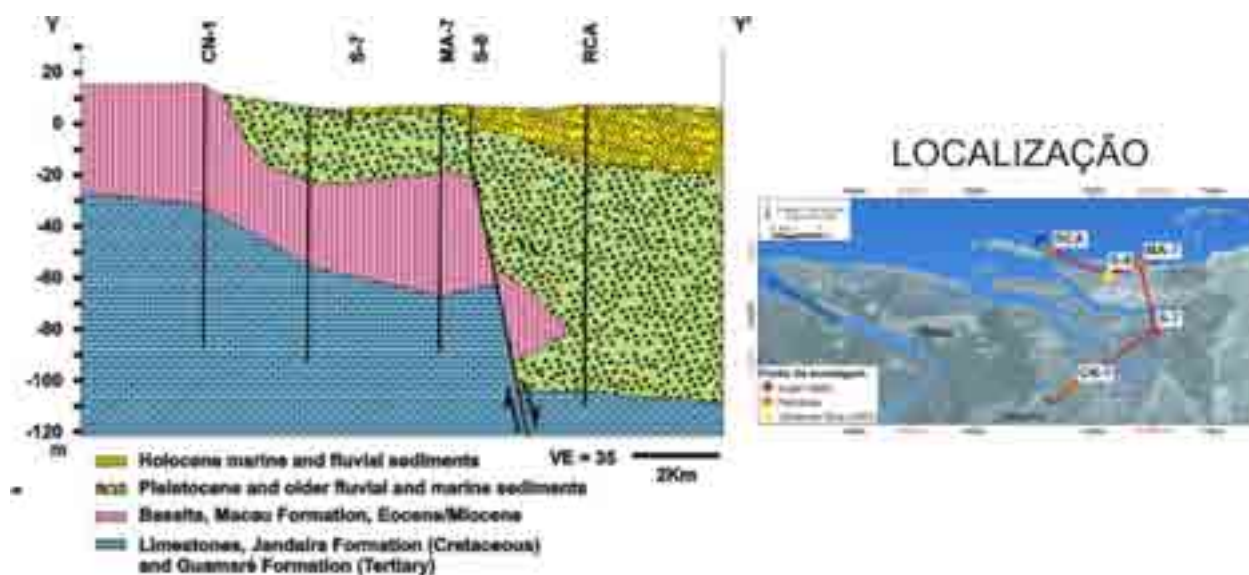


Figura 5.7 – Desenho esquemático do perfil interpretado por Silva (1991) e a localização dos poços utilizados para execução desse perfil geológico. (Compilado: Silva, 1991).

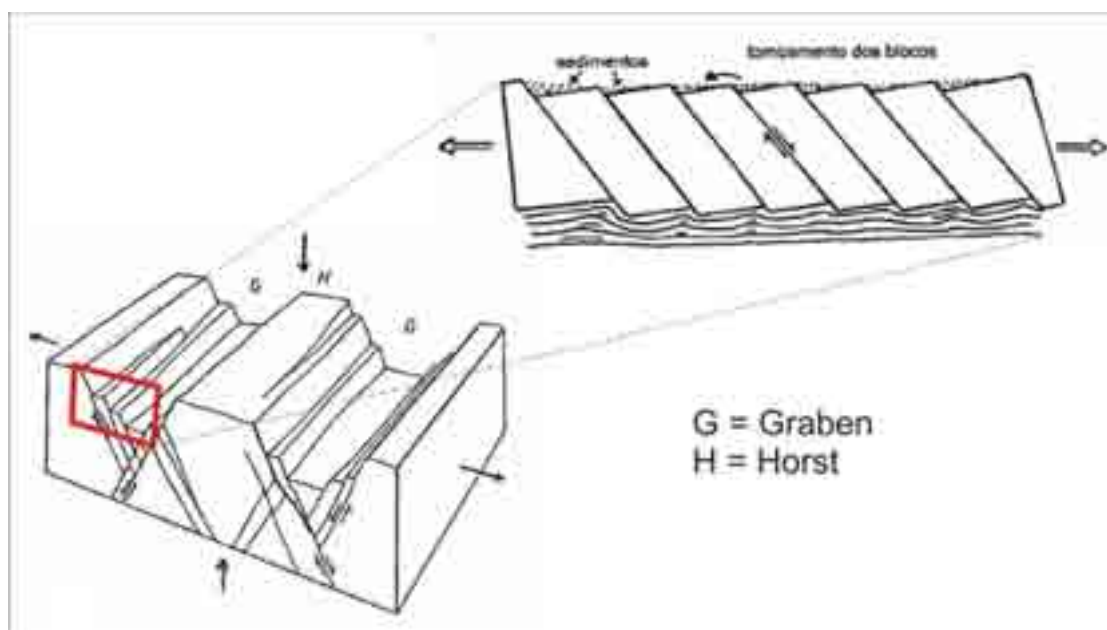


Figura 5.8 – Desenho esquemático do possível contexto estrutural da região que compreende a ilha barreira da Ponta do Tubarão e da barra arenosa do Fernandez.

Este tipo de estruturação pode explicar os contrastes das mudanças ocorridas num trecho do litoral monitorado (Figura 5.9), onde de um lado (parte E da costa) ocorreu grande acumulação de sedimento, e do outro lado (parte W da costa) ocorreu erosão do litoral, com uma grande perda de área de praia.

O lado da costa onde ocorreu acumulação de sedimento, a praia cresceu mais de 250 m em direção ao mar num espaço de tempo de até 6 anos (2001 a 2007), período este que foi observado o início do acúmulo de sedimento (2001) até o último ano monitorado pela imagem orbital (2007). Porém, nas observações efetuadas ao longo deste período pôde-se verificar que só a partir do ano de 2004 uma mudança na simetria deste acúmulo, onde despontou o crescimento de um esporão arenoso com mais de 300 m no sentido NW (Figura 5.9).

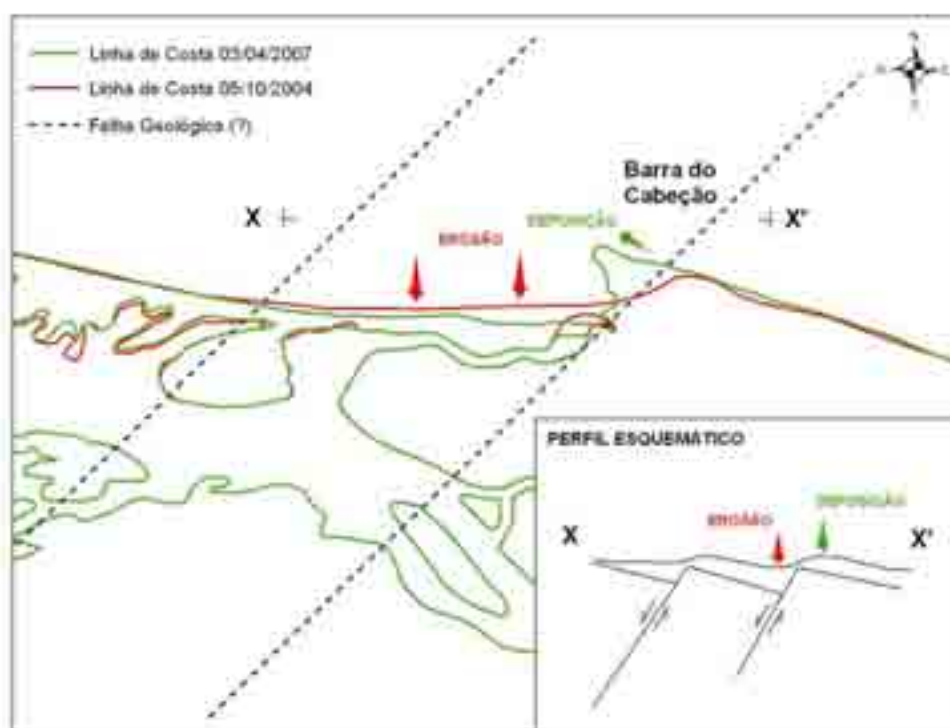


Figura 5.9 – Desenho esquemático da possível estruturação que controla a sedimentação na geração da “Barra Nova”, mostrando também o perfil esquemático desta estrutura.

Neste mesmo período (2001 a 2007) no outro lado da costa, onde ocorreu perda de sedimento (parte W da costa), o avanço do mar sobre o continente foi mais de 150 m. No entanto, somente no período entre 2005 e 2007 o recuo da costa duplicou, que foi cerca de 77 m a perda de praia para cerca de 155 m, atingindo até a região de manguezal, que era protegida por grandes dunas arenosas (> 4 m). Foi em fevereiro de 2006 que houve a abertura de um canal (chamado de Barra Nova), que interligava com o estuário. No entanto, a duração da abertura deste Canal Novo não durou cerca de 1 ano, sendo assoreado pela ação eólica, ficando um pequeno trecho do canal ainda aberto.

Como explicar a ambigüidade destas mudanças, onde de um lado ocorreu acresção e do outro lado erosão? Na superfície não existia nada aflorante que justificasse o aprisionamento do sedimento numa porção da área. Logo, a idéia de controle estrutural foi amadurecendo e que só poderia ser comprovada com a existência de uma falha entre essas mudanças.

Utilizando a interpretação de lineamentos por meio de imagens orbitais foi traçado um lineamento que pudesse representar a falha geológica no limite entre essas mudanças. Todavia, para comprovar a existência dela na área em questão foram executados alguns levantamentos de GPR (*Ground Penetrating Radar*) com antenas de baixa a alta frequência (100, 200 e 500 MHz), fazendo perfis longitudinais e transversais a partir de pontos-chave pré-determinados pelas imagens orbitais usadas (Figura 5.10).

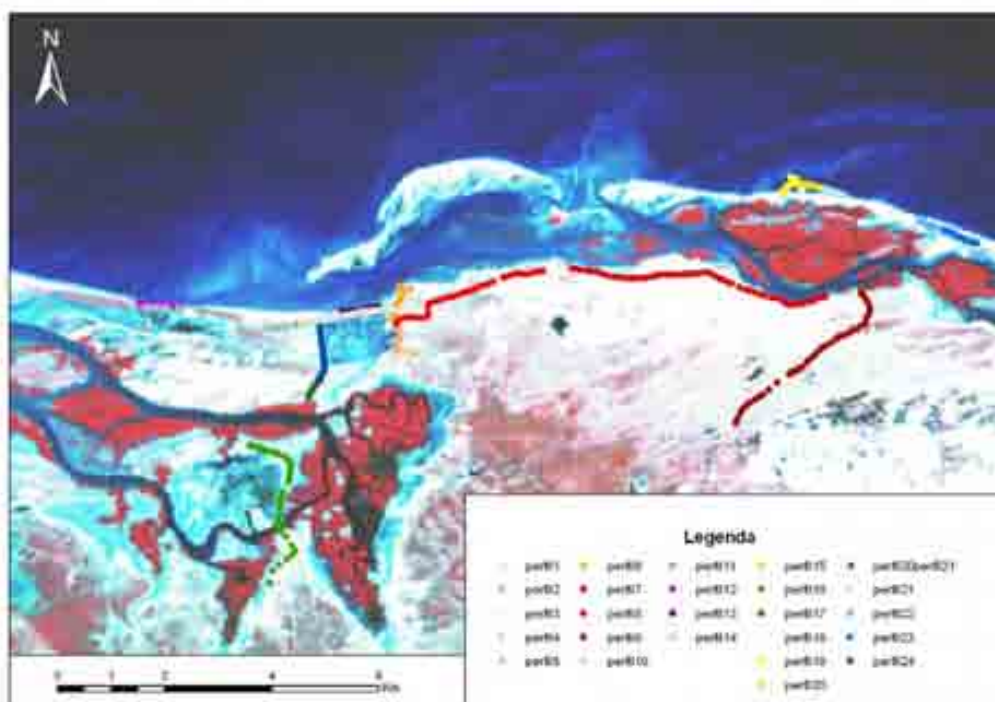


Figura 5.10 – Perfis executados pelo levantamento geofísico por meio do GPR ao fundo a imagem Landsat de 1989.

A antena de 500 MHz foi a que melhor conseguiu destacar uma estruturação em dominó por meio de contrastes das unidades geológicas em subsuperfície. Esta estruturação em dominó ocorre a cerca de 2,5 m da superfície (Figura 5.11) e confirma bem a indagação levantada de início, da existência de uma falha geológica nesta parte do litoral. Sua semelhança com a estruturação superficial, que está sendo proposta neste

trabalho para uma escala local, onde foi identificada pelos lineamentos mapeados usando produtos de sensores remotos, pode representar uma visão de macroescala para mesoescala ou mesmo megaescala da estruturação superficial da Bacia Potiguar.

Logo, este tipo de estruturação corrobora no entendimento dos fatores que favorecem o aprisionamento do sedimento para um lado da costa, acumulando grande quantidade de sedimento transportado pela deriva litorânea, que estaria relacionado com o bloco soerguido, e outro lado, onde a erosão ocorreu de forma mais severa estaria relacionado com o bloco rebaixado nesta estruturação.

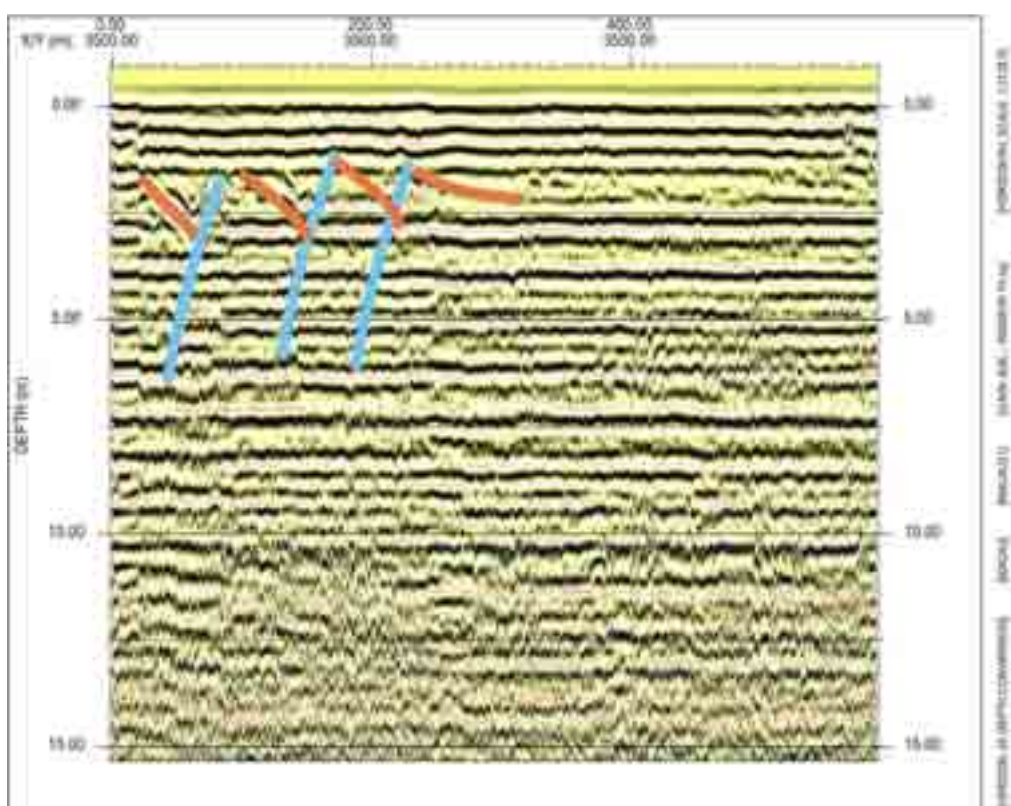


Figura 5.11 – Perfil geofísico pelo equipamento GPR caracterizando uma estruturação similar a estrutura dominó com identificação das estruturas até uma profundidade de pouco mais de 5 m.

V.7 - RECONSTRUÇÃO DA LINHA DE COSTA PARA OS ÚLTIMOS 7.000 ANOS

Para reconstrução da linha de costa localizada entre os municípios de Porto do Mangue e São Bento do Norte, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte,

foram utilizados o mapeamento das paleo-ilhas barreiras aflorantes por meio do levantamento de imagens orbitais ao longo da região costeira estudada, tomando como base os dados dos geocronológicos realizados por Silva (1991) para região estudada e usando o modelo proposto por Suguio (2003), descrito anteriormente, para remodelar a linha de costa de acordo com localização espaço-temporal.

O trabalho desenvolvido por Silva (1991) conseguiu caracterizar algumas paleo-ilhas barreiras ao longo da costa pesquisada, datando algumas delas pelo método ^{14}C , e relacionando-as com a progradação da planície costeira nos últimos 5.000 anos. O mapeamento destas paleo-ilhas serviu como balizamento geográfico das linhas de costa pretéritas. Algumas datações feitas por Caldas (2002) também foram utilizadas para este balizamento.

Logo, o procedimento adotado consistiu na ampliação da identificação das paleo-ilhas barreiras mapeadas por Silva (1991), usando imagens Landsat 5 TM, que por meio das características espectrais realçadas pelas técnicas de PDI, possibilitou o reconhecimento das demais paleo-ilhas barreiras existentes na região.

A partir de todas as informações levantadas, seguindo o modelo de Suguio (2003), pôde-se reconstruir cinco seqüências deposicionais das antigas ilhas barreiras pela localização espaço-temporal das mesmas para os últimos 3.900 anos A.P., podendo ser ampliada para 7.000 anos A.P. ou até 30.000 anos A.P. se considerarmos o empilhamento dos pacotes sedimentares ao longo dos anos (Figura 5.12).

Linha de Costa de 3.900 anos A.P.: a primeira geração de paleo-ilhas barreiras aflorantes foram mapeadas por meio de imagens Landsat (Figura 5.13) e determinada a idade pela datação efetuada por Caldas (2002) pelo método Th, a partir de conchas (*crassosfera virginica*). No entanto, Silva (1991) havia caracterizado inicialmente estas paleo-ilhas como de idade de 30.000 anos A.P., pelo método datação ^{14}C , porém topograficamente estaria posicionada a 19 m da superfície, representando então um grande hiato deposicional entre as litologias situadas acima e lateralmente. Logo, podemos relacionar estas informações pelo empilhamento litoestratigráfico (Figura 5.12).

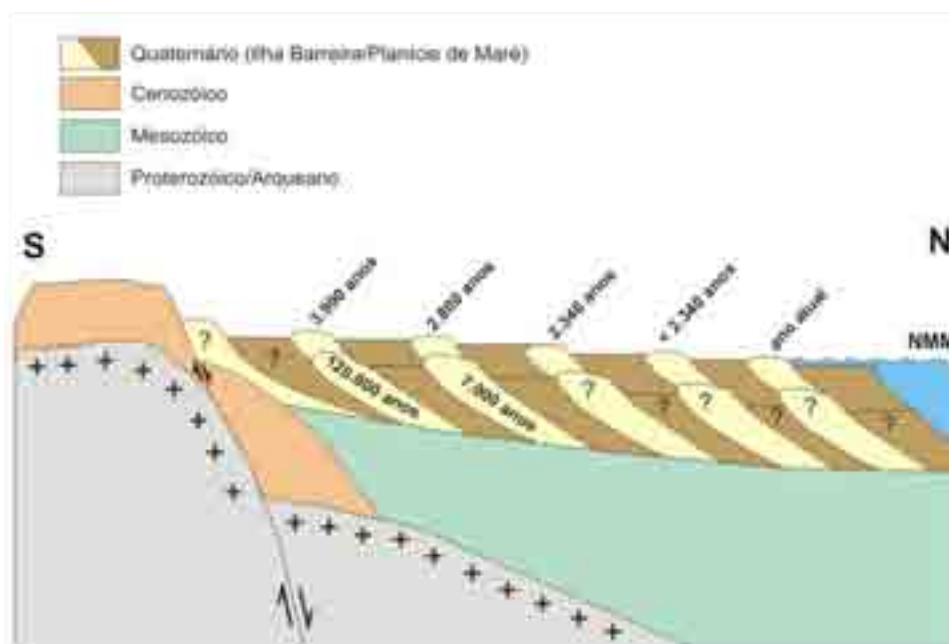


Figura 5.12 – Perfil esquemático sugerindo o empilhamento sedimentar nos últimos 120.000 anos, de acordo com o levantamento geocronológico e mapeamento das ilhas barreiras em superfície.

Linha de Costa de 2.800 anos A.P.: no reconhecimento desta linha de costa foi feita por meio das imagens Landsat, estando situada entre a linha de costa de 3.900 anos A.P. e a linha de costa de 2.340 anos A.P., logo, seguindo o modelo de Suguio (2001) e pelas delimitações das linhas de costa com datações conhecidas foi determinada sua idade de 2.800 anos A.P. para esta linha de costa (Figura 5.13). A única datação realizada nestas paleo-ilhas determina que a idade era de 7.000 anos A.P. efetuada por Silva (1991) a partir de conchas (*ostrea esquestis*), porém está situada a 22,5 m abaixo da superfície, ou seja, podemos deduzir que o posicionamento da linha de costa de 7.000 anos A.P. é semelhante ao de 2.800 anos A.P., representando o empilhamento estratigráfico sedimentar para região (Figura 5.12).

Linha de Costa de 2.340 anos A.P.: a determinação da idade desta linha de costa se deve a Silva (1991), que datou pelo método ^{14}C as conchas (*Veneridade*) posicionadas próximas da superfície (3 a 4 m de cota negativa), que demarcam outra seqüência de ilhas barreiras na região, representando a 3ª. geração de paleo-ilhas barreiras aflorantes (Figura 5.13). A cidade de Macau surgiu acima de uma das paleo-ilhas desta geração, sendo habitada quando a antiga ilha barreira possuía elevada estabilidade para construção das moradias (Figura 5.13).

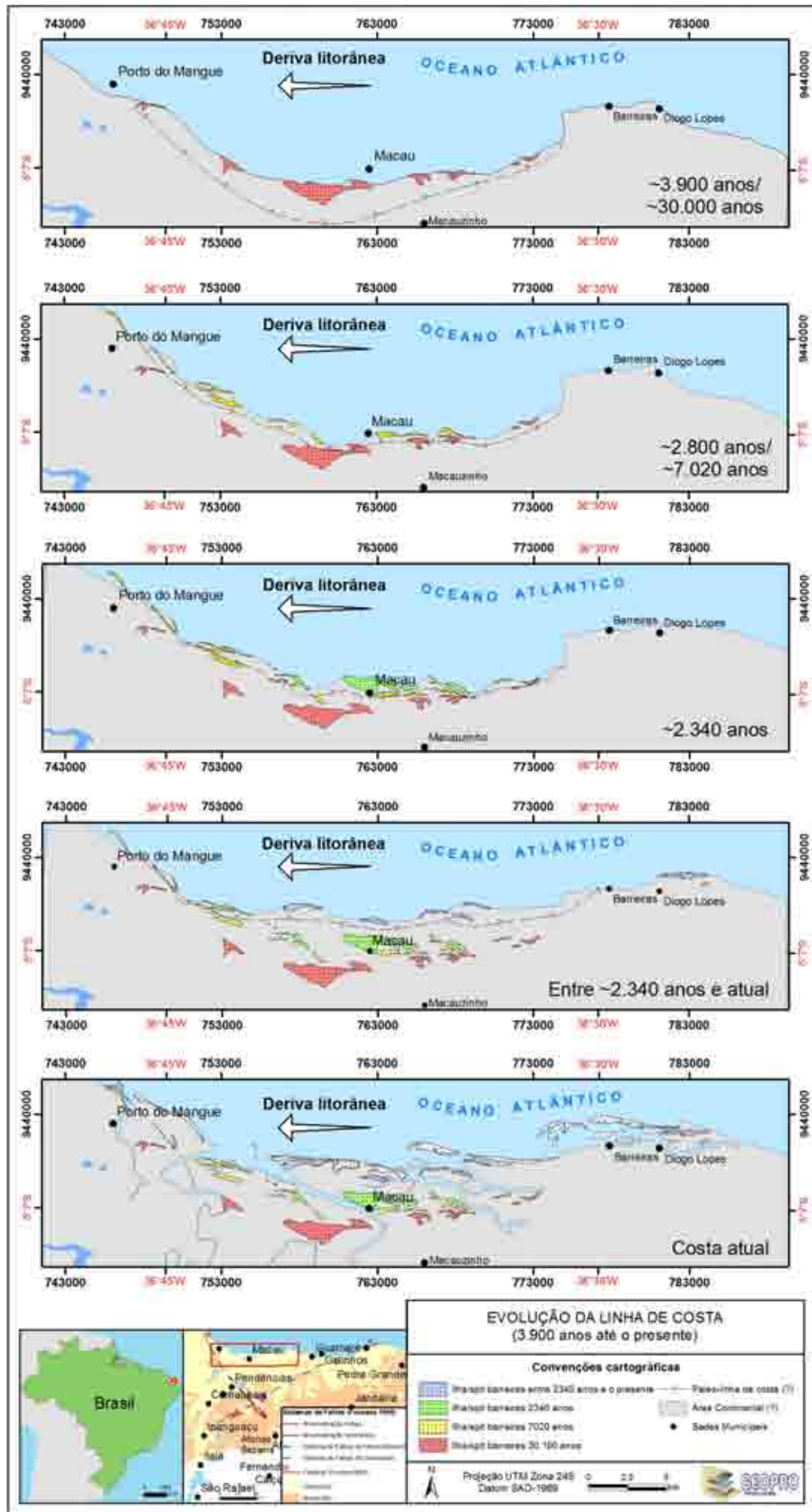
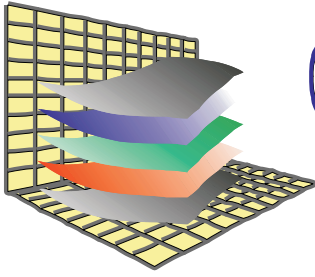


Figura 5.13 – Mapa da evolução da linha de costa, mostrando do pretérito (3.900 anos) até o presente, a partir do mapeamento usando imagens de satélite e datações geocronológicas, balizando no modelo de Suguio (2003).

Linha de Costa entre 2.340 anos A.P. e a Costa Atual: representa a última geração de paleo-ilhas barreiras aflorantes na região estudada, que no momento encontra-se protegidas pelas ilhas barreiras atuais. Elas não possuem nenhuma datação e no modelo de Suguio (2001) não podem ser encaixadas em nenhuma data específica (Figura 5.13).

Linha de Costa Atual: pode representa analogicamente como era o comportamento da região costeira do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte por pelo ao menos nos últimos 3.900 anos, podendo ser estendida esta datação para 30.000 anos se colocarmos o empilhamento litoestratigráfico que deve se assemelhar ao modelo de superfície (Figura 5.12).



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI:

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

VI.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os produtos e os métodos empregados nesta Tese de Doutorado foram satisfatórios para atingir os objetivos propostos, principalmente quando voltados para o monitoramento da região costeira. Eles são amplamente aplicados em diversas regiões no mundo que enfrentam problemas semelhantes aos encontrados no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte.

As conclusões a seguir correspondem a cada tema dos capítulos aqui abordados:

Cenários do litoral do Estado do Rio Grande do Norte

Foram criados e analisados seis cenários futuro a partir do modelo estático do terreno e seguindo a elevação do nível relativo dos mares de acordo com proposta de alguns autores que se propuseram a quantificar a elevação do nível do mar para os próximos 100 anos de 1 a 6 m. Baseado nestes modelos, podemos concluir que:

- A elevação de 1 m compromete várias regiões do Estado do Rio Grande do Norte, mas principalmente o litoral setentrional do Estado, que seria o mais afetado, com alagamentos de grandes áreas e comprometendo cidades como Porto do Mangue, Macau, Guamaré e Galinhos;
- O modelo de elevação mais drástica, que seria de 6 m, comprometeria toda costa potiguar, uma vez que grande densidade populacional do Estado está situada no litoral, fazendo com que tenham que ser deslocados para regiões mais elevadas, além de alagar grandes planícies que são utilizadas pela atividade agropecuária, inviabilizando a produção salineira (que é uma atividade secular no Estado) e comprometendo as atividades da indústria petrolífera;

- O aquecimento global preocupa o mundo inteiro, pois em muitas regiões costeiras o efeito erosivo é relacionado diretamente a elevação do nível médio dos mares, que no litoral setentrional do Estado seria mais um agravante, já outros fatores corroboram também no efeito erosivo da região.

Evolução costeira do litoral setentrional do RN

Foi utilizado o acervo digital de imagens orbitais do Laboratório de Geoprocessamento (DG/PPGG) para o monitoramento da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, a partir do levantamento da linha de costa pela diferenciação das áreas emersas das áreas submersas. Este tipo de levantamento permitiu por meio de técnicas de geoprocessamento o cruzamento das linhas de costas para períodos distintos. Isso possibilitou analisar a evolução da linha de costa para 34 anos (1973 a 2007) de intervalo de tempo. Logo, podemos concluir as seguintes informações:

- Verificou-se que existem 6 áreas críticas, de acordo com movimentação de massa sedimentar para os 34 anos analisados;
- A década de 70 foi favorável para o acúmulo de sedimento na região monitorada, tendo para todas as áreas críticas o balanço sedimentar positivo;
- Nas décadas de 80 e 90, o balanço sedimentar foi negativo para região como um todo. Porém, pela falta de mais dados neste período não se pode fazer uma análise mais apurada da morfodinâmica na região;
- Nos anos subsequentes de 2000, como tinha dados para todos os anos, pôde-se verificar a alternância do balanço sedimentar;
- Em posse dos dados de ocorrência de El Niño e La Niña, verificou-se que existe uma relação indireta destes fenômenos de ordem global no comportamento morfodinâmico costeiro, onde em períodos de El Niño favoreceram para o balanço sedimentar fosse positivo e em períodos de La Niña contribuíram para o balanço sedimentar negativo para região estudada;

- A tendência da ilha barreira da Ponta do Tubarão é se extinguir para os próximos 5 anos, porém sendo substituída por uma nova ilha que deverá se deslocar da barra do Fernandez e se posicionando no lugar da antiga ilha;
- A diminuição da área da região costeira é mais efetiva possivelmente relacionado a elevação do nível médio dos mares, bem como agravado em alguns lugares possivelmente pela atividade neotectônica em pontos chave;
- A abertura do canal do arrombado na barra do Corta Cachorro e do canal novo na barra do Fernandez se deram no mesmo período (fevereiro a março de 2006);
- A foz do rio das Conchas, região de Porto do Mangue, está comprometida para navegação pelo assoreamento do leito do rio, condicionado pela perda de energia de vazante por causa da construção de diques para contenção de água para abastecimento dos tanques de carcinicultura nos últimos anos, proporcionando o domínio da energia das marés, que carregam todo sedimento em suspensão lançado pelo rio Piranhas-Açu para desembocadura da foz do rio.

Análise evolutiva em 3D das ilhas barreiras

Para se fazer esta análise foram criados MDTs das ilhas barreiras da região de Macau/RN, no intuito de avaliar o volume de sedimento movimentado em curtos intervalos de tempo. Podemos concluir que:

- A técnica de levantamento correspondeu bem as expectativas desejadas, no que se refere a geração de MDTs com o uso de GPS geodésico, dando mais precisão e confiabilidade nos dados levantados;
- Para ambas as ilhas o saldo do balanço sedimentar foi positivo para o período levantado (fevereiro e março de 2007);
- O ganho sedimentar se deu mais no interior das ilhas, devido ao transporte eólico do material sedimentar carregado da faixa de praia. Mas apesar desse ganho, a perda de material se concentrou na faixa de praia, fazendo com que a área de praia fosse mais perdida.

Distribuição espaço-temporal das ilhas barreiras

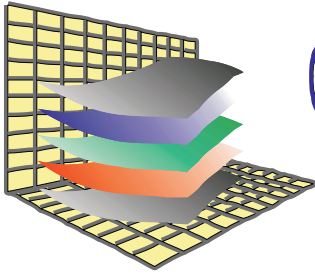
A partir dos dados geocronológicos, perfis geológicos, imagens orbitais, dados geofísicos e de modelos propostos foi possível fazer a distribuição espaço-temporal das ilhas barreiras existentes na região em questão. Baseado nas informações obtidas, podemos concluir que:

- A integração dos dados multidisciplinares foi primordial para localização geoespacial das paleo-ilhas barreiras e com a ajuda da geocronologia permitiu compreender o que existe de atual com o que houve no passado;
- O modelo de Suguio (2003) pôde ser aplicado para o litoral potiguar, uma vez que existe uma similaridade no nível relativo do mar de outras regiões brasileiras mais estudadas com o Estado do Rio Grande do Norte, de acordo com Bezerra *et al.* (2003);
- Seguindo os modelos de Hayes (1979), as ilhas barreiras e esporões arenosos estão condicionados a dois modelos de energia hidrodinâmica (dominada por onda e mistura de energia). A dominada por onda é condicionada para as novas ilhas barreiras e/ou esporões arenosos formados, quando essas ilhas e esporões estão mais maduros o domínio passa a ser de mistura de energia (maré + ondas);
- O empilhamento sedimentar explicaria a desconformidade nos valores desconstruídos por Silva (1991) e Caldas (2002).

VI.2 - RECOMENDAÇÕES

O trabalho desenvolveu várias frentes de pesquisa para entendimentos dos processos atuantes na região monitorada, não muito especificamente mais apurada devido a complexidade que se chegaria às informações. Logo, nos sugerimos as seguintes recomendações:

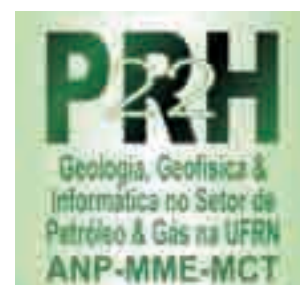
- ❖ Recomenda-se a continuidade do trabalho por novos pesquisadores que possam dar continuidade no monitoramento costeiro desta região, com o uso de imagens orbitais e levantamento do MDT com o uso do GPS de precisão, pois essa região é ímpar no mundo inteiro pela sua dinâmica costeira atuante e seus efeitos que elas empregam;
- ❖ O levantamento mais apurado com GPR possibilitará no mapeamento das estruturas mais superficiais, que exercem o controle na sedimentação e erosão da região, deve ser um tema mais aprofundado;
- ❖ Voltar os olhares para os fenômenos de ordem global, pois de maneira indireta contribuem para o aumento do efeito erosivo na região, que é um tema de preocupação mundial.



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Almeida, F.F.M.; Hassui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A., 1977. *Províncias Estruturais Brasileiras*. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 2, Campina Grande/PB, Anais, p. 242-258.
- ❖ Alves, A.L., 2001. Cartografia Temporal e Análise Geoambiental da Dinâmica da Foz do Rio Piranhas-Açu, Região de Macau-RN, com base em Imagens Landsat 5-TM. Dissertação Mestrado em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- ❖ Alves, A.L.; Amaro, V.E.; Vital, H., 2003. Multitemporal analysis of multispectral Landsat 5 – thematic mapper images for monitoring and evaluation of coastal morphodynamic on the Northeastern Coast of Brazil. *Journal of Coastal Research, Brazilian Sandy Beaches, Special Publication, SI 35: 279–283*.
- ❖ Amaro, V.E.; Vital, H.; Alves, A.L.; Lima, Z.M.C.; Tabosa, W.F.; Caldas, L.H.O.; Souto, M.V.S., 2002. Application of remote sensing multitemporal/multisensor data analysis and GIS database for coastline change monitoring and nearshore morphology detection in RN state, NE Brazil. *EOS Transactions - American Geophysical Union, EUA, v. 83, nº 4*.
- ❖ Angelim, L.A.A.; Nesi, J.R.; Torres, H.H.F.; Medeiros, V.C.; Santos, C.A.; Veiga Júnior, J.P.; Mendes, V.A., 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte (Escala 1:500.000), CPRM/MME, 233 p.
- ❖ Araripe, P.T.; Feijó, F., 1994. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 8(1): 127-141.
- ❖ Araujo, M.; Vital, H.; Amaro, V.E.; Silva, M.A., 2004. *Caracterização das Forçantes Hidrodinâmicas-Correntes, Ondas e Marés - Na Região Costeira de Guamaré-RN*. In: WORKSHOP TÉCNICO-CIENTÍFICO PROJETO PETRORISCO (Rede 05/01-CTPETRO/FINEP/CNPq), 3., 2004, Belém. Anais... Belém: Rede-05. 1 CD.
- ❖ ArcGIS® *software* v. 9.2 (ESRI - Environmental Systems Research Institute Inc.). Copyright © 2007 ESRI Inc. All rights reserved. USA: Environmental Systems Research Institute.

- ❖ Bagnoli, E., 1988. Ilhas de barreira: conceituação teórica e um exemplo do Recente (Ponta do Tubarão – litoral Norte do Rio Grande do Norte). Petrobras/Debar/Dinter/Selab, Relatório Interno, SIEX nº 106.6553, 20 p.
- ❖ Bagnoli, E., 1992. The Mossoró sandstone, Canto do Amaro oil field, Late Cretaceous of the Potiguar Basin, Brazil: An example of a Tidal Inlet-Channel reservoir. In: E. G. Rhodes, T. F. Moslow (eds.), Marine clastic reservoirs: examples and analogues, p. 183-199.
- ❖ Barbosa, M.P.; Singhroy, V.; Saint-Jean, R., 1999. Mapping coastal erosion in Southern Paraíba, Brazil from RADARSAT-1. Canadian Journal of Remote Sensing, 25: 323-328.
- ❖ Bertani, R.T.; Costa, I.G.; Matos, R.M.D., 1990. *Evolução Tectono-Sedimentar, Estilo Estrutural e “Habitat” do Petróleo da Bacia Potiguar Emersa*. In: Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (eds), Bacias Sedimentares. PETROBRAS, 291-309.
- ❖ Bertani, R.T.; Neto, A.F.A.; Matos, R.M.D., 1987. *O Habitat do Petróleo da Bacia Potiguar Emersa*. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 1(1): 41-49.
- ❖ Bezerra, F.H.R., 2000. Neotectonic movements in northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic-hazard assessment. Revista Brasileira de Geociências, 30(3): 562-564.
- ❖ Bezerra, F.H.R.; Barreto, A.M.F.; Suguio, K., 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. Marine Geology, 196 (2003): 73-89.
- ❖ Bezerra, F.H.R.; Lima Filho, F.P.; Amaral, R.F.; Caldas, L.H.O.; Costa Neto, L.X., 1998. Holocene coastal tectonics in NE Brazil, in Stewart, I.S., and Vita-Finzi, C., eds, Coastal tectonics: London, Geological Society, Special Publications, nº 146, p. 279-293.
- ❖ Bittencourt, A.C.S.P.; Martin, L.; Vilas-Boas, G.S.; Flexor, J.M., 1979. Quaternary marine systems formations of the State of Bahia, Brazil. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. São Paulo. Proceedings. IGCP Projetc, 61: 232-253.
- ❖ Caldas, L.H.O., 1996. Geologia costeira da região de São Bento do Norte e Caiçara, Litoral Norte Potiguar. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 83 p.

- ❖ Caldas, L.H.O., 1998. Estudo geológico e geofísico da Falha de Carnaubais, Bacia Potiguar-RN, e implicações neotectônicas. Dissertação de Mestrado, PPGG/Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 85 p.
- ❖ Caldas, L.H.O., 2002. Late Quaternary coastal evolution of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. Unpublished PhD Thesis. Kiel University, Germany, 92 p.
- ❖ Caldas, L.H.O.; Stattegger, K.; Vital, H., 2006. Holocene sea-level history and coastal evolution: evidences from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. *Marine Geology*, Amsterdam, 228 (1-4): 39-53.
- ❖ Chaves, M. S.; Vital, H., 2001. *Caracterização Geoambiental dos Parâmetros de Onda entre o trecho Praial da Ponta do Tubarão e Gamboa do Corta-Cachorro, Macau/RN*. In: ABEQUA, 8. Imbé/RS, p. 55.
- ❖ Chaves, M.S., 2005. Dinâmica costeira da área Macau-Serra. 2005. Tese de Doutorado em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- ❖ Chaves, M.S.; Vital, H.; Silveira, I.M.; Santos, D.A.S., 2006. *Beach Morphodynamics of the Serra Oil Field (NE, Brazil)*. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 594-597.
- ❖ Córdoba, V.C., 2001. A Evolução da Plataforma Carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar: Análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Tese Doutorado, 239 p.
- ❖ Cremonini, O.; Goulart, J.P.M.; Soares, U.M., 1996. *O Rifte Potiguar: Novos Dados e Implicações Tectônicas*. In: Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil., 4, São Paulo/SP, Boletim, p. 89-93.
- ❖ Dantas, E.P., 1998. *Gravimetria e Sensoriamento Remoto: Uma Aplicação ao Estudo da Tectônica Recente entre Macau e São Bento do Norte (RN)*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, PPGG, Natal/RN. 98 p.
- ❖ Disperati, L.; Righini, G.; Fantozzi, P.L.; Carmignani, L.; Bocci, M.; Fiori, A.P.; Kozciak, S.; Paranhos Filho, A.C., 1998. Studio multitemporale degli effetti dell'attività antropica in un'area umida attraverso tecniche di telerilevamento e SIT: l'area di Rio Verde nel Pantanal Mato-Grossense (Brasile). 79o Congresso Società Geologica Italiana: La Sicilia,

- un laboratorio naturale nel Mediterraneo. Strutture, Mari, Risorse e Rischi. Palermo, 21-23 Settembre.
- ❖ EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. Download de imagens SRTM. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2008.
 - ❖ EMPARN, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, 2009. Meteorologia. Disponível em: <<http://www.emparn.rn.gov.br/links/meteorologia/meteorologia.asp>>. Acesso em: 18 de maio de 2009.
 - ❖ ER-Mapper[®] *software* v. 7.0. Copyright © 2006 Earth Resource Mapping Pty. All rights reserved. Australia: West Perth.
 - ❖ Feitosa, E.A.N.; Pereira, A.L.; Valeda, D.R.A.; Silva, C.C.; Silva, G.R., 2003. Panorama do potencial eólico no Brasil. Brasília: ANEEL, 68 p.
 - ❖ Fonseca, V.P., 1996. Estudo morfo-neotectônico na área do baixo curso do Rio Açu (Assu-Macau), Rio Grande do Norte. IG/UFMG, Belo Horizonte, Dissertação de mestrado, 109 p.
 - ❖ Fortes, F.P., 1982. Mapa Geológico da Bacia Potiguar (1:100.000): a origem da Bacia Mesozóica do Apodi como decorrência do ciclo Tectono-Orogênico Brasileiro. Natal: PETROBRAS. DEPEX. Relatório interno.
 - ❖ GLCF, 2007. Website da Global Land Cover Facility – GLCF, disponível em <<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>>.
 - ❖ Goodchild, M. F.; Proctor, J.D.; Wright, D.J., 1997. Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as “Tool” Versus “Science”. In: The Annals of the Association of American Geographers.
 - ❖ Gornitz, V., 2007. Sea Level Rise, After the Ice Melted and Today. Science Briefs, NASA. Disponível em <<http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/>>.
 - ❖ Grigio, A.M., 2003. *Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de*

- Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da Indústria Petrolífera*. PPGG, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, Natal/RN, 222p.
- ❖ Grigio, A.M.; Amaro, V.E.; Vital, H.; Diodato, M.A.; Castro, A.F.; Souto, M.V.S., 2004. Use of Remote Sensing and Geographical Information System as tool in the preliminary trial on the vulnerability with relation to accidents in the installations and ducts of the Guamaré Petroleum Pole - Município de Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil.. In: 32nd International Geological Congress, 2004, Florença, p. 96-96.
 - ❖ Grigio, A.M.; Souto, M.V.S.; Castro, A.F.; Amaro, V.E.; Vital, H.; Diodato, M.A., 2005. Method of analysis of the coastline evolution based in remote sensing and geographical information system products: Guamaré District Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil.. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, Florida, v. SI 42, n. SI 42, p. 412-421.
 - ❖ Guedes, L.S.; Amaro, V.E.; Vital, H., 2002. Estudo temporal do uso e ocupação do solo do estuário do Rio Paraíba do Norte (PB) por meio de cartografia temática digital e de imagens de sensoriamento remoto orbital.. In: 41 Congresso Brasileiro de Geologia, 2002, João Pessoa/PB, SBG, p. 96.
 - ❖ Hackspacher, P.C.; Corsino, A.R.; Srivastava, N.K.; Tiriba, V.F., 1985. A Falha de Afonso Bezerra como evidência de significativo tectonismo frágil NW-SE, na Bacia Potiguar emersa – RN. *Boletim UFRN/CCE/DG*, Natal, v. 10, p. 33-44.
 - ❖ Hayes, M. O., 1979. Barrier island morphology as a function of wave and tide regime, in Leatherman, S. P. ed., *Barrier Islands*. Academic Press, New York, NY, p. 1-27.
 - ❖ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001. Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Guamaré. Disponível em www.ibge.gov.br. Acessado em 12/09/2003.
 - ❖ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008. Cartograma de localização. Disponível em http://www1.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/mapa_rbmc.html. Acessado em 20/11/2008.

- ❖ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. Localização das Estações RBMC-IP. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/mapa_localizacao.shtm. Acessado em 03/09/2009.
- ❖ IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN, 1999. *Informativo Municipal – Macau*. Natal/RN. v. 05. p. 1-14.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem CBERS 2. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 148 ponto 106. De 05 de outubro de 2004. Acessado em 16/11/2006.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem CBERS 2. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 148 ponto 106. De 30 de outubro de 2005. Acessado em 16/11/2006.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem CBERS 2. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 148 ponto 106. De 03 de outubro de 2006. Acessado em 08/07/2007.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem CBERS 2. Sensor CCD. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 148 ponto 106. De 03 de abril de 2007. Acessado em 08/07/2007.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 1 - MSS. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 231 ponto 064. De 26 de julho de 1973. Acessado em 23/10/2006.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 1 - MSS. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 231 ponto 064. De 17 de maio de 1976. Acessado em 23/10/2006.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 2 - MSS. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 231 ponto 064. De 19 de agosto de 1977. Acessado em 23/10/2006.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 2 - MSS. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de

- satélite. Órbita 231 ponto 064. De 25 de maio de 1978. Acessado em 24/10/2006.
- ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 3 - MSS. Canais 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 231 ponto 064. De 03 de setembro de 1981. Acessado em 24/10/2006.
 - ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 7 ETM+. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e pan. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 215 ponto 064. De 06 de novembro de 2002. Acessado em 25/10/2006.
 - ❖ INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem LANDSAT 7 ETM+. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e pan. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 215 ponto 064. De 29 de maio de 2003. Acessado em 25/10/2006.
 - ❖ IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, disponível em <<http://www.ipcc.ch/>>.
 - ❖ Jardim de Sá, E. F., 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Universidade de Brasília, Brasília/DF, Tese de Doutorado. 803 p.
 - ❖ Jardim de Sá, E.F., 1984. *A Evolução Proterozóica da Província Borborema*. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 11, Recife/PE, *Atas*, p. 297-271.
 - ❖ Köppen, W., 1948. *Climatologia: com um Estúdio de los Climats de la Tierra*. Versión de Pedro R. Hendrichs. México, Fondo de Cultura Económica. 478 p.
 - ❖ LANDSAT 5 TM. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Imagem de satélite. Órbita 215 ponto 064. CD ROM. De 02 de agosto de 1989.
 - ❖ LANDSAT 5 TM. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Curitiba/PR: Engesat. Imagem de satélite. Órbita 215 ponto 064. CD ROM. De 28 de setembro de 1998.

- ❖ LANDSAT 5 TM. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Curitiba/PR: Engesat. Imagem de satélite. Órbita 215 ponto 064. CD ROM. De 13 de junho de 2000.
- ❖ LANDSAT 7 ETM+. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e pan. Curitiba/PR: Engesat. Imagem de satélite. Órbita 215 ponto 064. CD ROM. De 26 de julho de 2001.
- ❖ Lima, C.C.U., 2000. O Neotectonismo na Costa Sudeste e Nordeste Brasileiro. Revista de Ciência & Tecnologia, 15, p. 91-102.
- ❖ Lima, Z.M.C., 2004. *Caracterização da dinâmica ambiental da região costeira do Município de Galinhos, litoral setentrional do Rio Grande do Norte*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, PPGG, Natal/RN, 91 p.
- ❖ Lima, Z.M.C.; Alves, A.L.; Amaro, V.E.; Vital, H., 2001. Coastline evolution of the Galinhos spit (NE Brazil) using air photography and landsat TM images. In: Revista Pesquisas em Geociências, 28(2):497-507.
- ❖ Matos, A.C.O.C., 2005. Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia dos Transportes. Tese de Doutorado. São Paulo, 355 p.
- ❖ Matos, R.M.D., 1987. *Sistema de Riftes Cretáceos do NE Brasileiro*. In: Seminário de Tectônica da PETROBRAS, 1. Rio de Janeiro/RJ. Atas, p.125-159.
- ❖ Matos, R.M.D., 1992. *Deep Seismic Profiling, Basin Geometry and Tectonic Evolution of Intracontinental Rift Basins in Brazil*. Cornell University, United States, Doctor Philosophy Theses, 276 p.
- ❖ Mesquita Júnior, H.N., 1998. Análise temporal com sensor orbital de fisionomias de Cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga - SP). Dissertação de Mestrado em Ecologia, USP, São Paulo/SP, 128 p.
- ❖ Michaels, P.J., 2006. Is the Sky Really Falling? A Review of Recent Global Warming Scare Stories. Policy Analysis no. 576, August 23, Cato Studies.

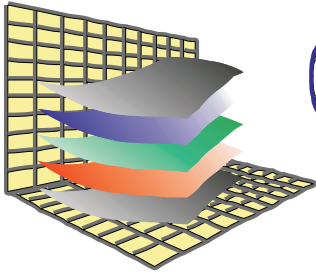
- ❖ Milani, E.J.; Brandão, J.A.S.L.; Zalán, P.V.; Gamboa, L.A.P., 2001. Petróleo na Margem Continental Brasileira: Geologia, Exploração, Resultados e Perspectivas. *In: Brazilian Journal of Geophysics*, vol. 18(3), p. 352-396.
- ❖ Miranda, F.M., 1983. *Geologia da Área de Macauzinho, Litoral Leste do Estado do Rio Grande do Norte*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Relatório de Graduação, 168 p.
- ❖ Monico, J.F.G., 2000. Posicionamento Pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e aplicações. Editora Unesp, 291 p.
- ❖ Mota, J.S., 2006. Configuração Espaço-Temporal de Padrões de Mudanças. Proposta de Tese de Doutorado em Computação Aplicada, INPE. Disponível no *site* http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/proposta_joice.pdf e visitado no dia 13/04/2007.
- ❖ Paradella, W.R.; Santos, A.R.; Venezlant, P.; Cunha, E.S.P., 2005. Radares imageadores nas geociências: Estado da arte e perspectivas. *Revista Brasileira de Cartografia* nº 57/01, 2005. (ISSN 1808-0936), p. 56-62.
- ❖ Paranhos Filho, A.C., 2000. Análise Geo-ambiental Multitemporal: o caso de estudo de Coxim e da Bacia do Taquarizinho (MS – Brasil). Tese Doutorado em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 213 p.
- ❖ Peltier, W.R., 1998. Global glacial isostatic adjustment and coastal tectonics. *In: Stewart, I., Vita-Finzi, C. (Eds.), Coastal Tectonics. Geol. Soc. London Spec. Publ., 146, 1-29.*
- ❖ Pessoa Neto, O.C., 2003. Estratigrafia de Seqüências da Plataforma Mista Neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(3): 263-278.
- ❖ Plácido Júnior, J.S., 2008. Monitoramento e modelagem tridimensional em hotspots erosionais em áreas costeira sob atuação da Indústria Petrolífera-Bacia Potiguar/RN). Dissertação de Mestrado em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- ❖ Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R., 2005. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 57 (2003): 241–262.
- ❖ Reyes-Peréz, Y.A.; Lima Filho, F.P.; Appi, C.J.; Menezes, L.; Araujo, V.D., 2002. Estudo de Afloramentos Análogos a Reservatórios Influenciados pela ação de correntes de maré na Baía Potiguar. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, Anais, 1, p. 671.
- ❖ Rowley, R.J.; Kostelnick, J.C.; Braaten, D.; LI, X.; Meisel, J., 2007. Risk of Rising Sea Level to Population and Land Area. *Eos Transactions* 88, n° 9 (27 February 2007): 105-107.
- ❖ Santos, D.A.S., 2003. Mapeamento da área submersa da laguna de Diogo Lopes - Barreiras/RN. Relatório de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 71 p.
- ❖ Santos Neto, F., 2007. Caracterização Morfo-sedimentar da Ponta do Tubarão. Trabalho de Conclusão de Curso. Relatório de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- ❖ Silva, C.G., 1991. *Holocene stratigraphy and evolution of the Açu river delta, northeast Brazil*. Universidade Duke. Tese de Doutorado, 400 p.
- ❖ Singhroy, V., 1996. Interpretation of SAR images for coastal zone mapping in Guyana. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22: 317-328
- ❖ Souto, M.V.S., 2002. *Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmica costeira da ponta do Tubarão, Macau-RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e SIG*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 67p.
- ❖ Souto, M.V.S., 2004. Análise multitemporal dos elementos geoambientais da Planície estuarina de Região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, Município de Macau, RN. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 114p.

- ❖ Souto, M.V.S.; Grigio, A.M.; Castro, A.F.; Amaro, V.E., 2006. Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. *Journal of Coastal Research, Special Issue (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC - Brazil), Estados Unidos*, v. 39, p. 1618-1621.
- ❖ Souza Filho, P.W.M., 2000. *Avaliação e aplicação de dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, norte do Brasil*. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, Tese de Doutorado. 219 p.
- ❖ Steyaert, L., 1993. A Perspective on the State of Environmental Simulation Modeling. In: *Environmental Modeling with GIS*. Edited by Michael F. Goodchild, Bradley O Parks and Louis T. Steyaert, p. 16-30.
- ❖ Suguio, K., 1988. Influência das flutuações do nível relativo do mar e da deriva litorânea de sedimentos na formação dos plainos costeiros quaternários do Brasil. In: *Simpósio Sobre Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras: Características Geotécnicas e Experiências de Obras*, 1988, Rio de Janeiro, RJ. ANAIS - ABGE-IPR, Clube de Engenharia, v. 1, p. 111-118.
- ❖ Suguio, K., 2001a. Influence of the “Hypsithermal Age” and “neoglaciation” climatic conditions on the Brazilian coast. *Pesquisas em Geociências* 28: 2213–222.
- ❖ Suguio, K., 2001b. *Mudanças Climáticas no Quaternário: passado + presente = futuro*. São Paulo: Paulo’s Comunicações e Artes Gráficas.
- ❖ Suguio, K., 2003. Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas. *Revista do Instituto de Geociências da USP, São Paulo*, v. 1, p. 1-40.
- ❖ Suguio, K.; Martin, L., 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense (Quaternary ma-rine formations of the State of São Paulo and southern Rio de Janeiro). In: *Internacional Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, São Paulo, 1978. São Paulo, SBG/IGUSP, Special Publication, n° 1, 55 p.
- ❖ Suguio, K.; Martin, L., 1996. The Role of Neotectonics in the Evolution of the Brazilian Coast. *Geonomos*, 4(2): 45-53.

- ❖ Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A.C.S.P.; Domin-Gues, J.M.L.; Flexor, J.M.; Azevedo, A.E.G., 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(4): 273-286.
- ❖ Suguio, K.; Nogueira, A.C.R., 1999. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. *Geociências*, 18: 461-479.
- ❖ Tabosa, W. F.; Vital, H.; Amaro, V.E., 2001. Control of the coastal setting in the São Bento do Norte and Caiçara do Norte beach-NE/Brasil. In: *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2): 383-392.
- ❖ Target[®] for ArcGIS *software* v. 3.1. Copyright © 2009 Geosoft Inc. All rights reserved. USA: TFA.GFAj.2009.03.
- ❖ Titus, J.G.; Richman, C., 2001. Maps of Lands Vulnerable to Sea Level Rise: Modeled Elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts. - *Climate Research*, CR 18: 205-228.
- ❖ Torres, H.H.F., 1994. *Metodologia para Estudos Neotectônicos Regionais, o Caso de João Câmara*. Série Publicações Especiais da CPRM. v2, p. 7-45.
- ❖ Valentim da Silva, D.R.; Amaro, V.E., 2008. Integração entre dados ópticos e Radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte. *Revista Geográfica Acadêmica* 2(2): 111-123. ISSN 1678-7226.
- ❖ Valentim da Silva, D.R.; Amaro, V.E.; Souza, D.S.; Souza, A.S.; Melo, B.S.; Souto, M.V.S.; Pereira, B.R.B., 2007. Integração de produtos de sensores ativos e passivos aplicada ao monitoramento ambiental no litoral do Rio Grande do Norte. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis-SC. Abril de 2007.
- ❖ Vasconcelos, E.P.; Lima Neto, F.F.; Roos, S., 1990. Unidades de correlação da Formação Açú, Bacia Potiguar. In: *SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 36, Natal, Anais, 1: 227- 240.

- ❖ Villwoock, J.A.; Tomazelli, J.L.; Loss, E.L.; Dehnhardt, E.A.; Horn Filho, N.O.; Bachi, F.A.; Dehnhardt, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASSA, J. (ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, 4: 79-94.
- ❖ Vital, H. (coordenadora). 2002. Projeto Linha de Costa: Galinhos a Ponta do Mel - 1831. *Relatório Técnico de Projeto Final*. Pro-Reitoria de Extensão da UFRN, 8p. + Mapa com linhas de costa de 1872, 1954 e 2001 em escala de 1:50.000.
- ❖ Vital, H.; Amaro, V.E.; Silveira, I.M., 2006. Coastal erosion on the Rio Grande do Norte State (Northeastern Brazil): Causes and factors versus effects and associated processes. *Journal of Coastal Research. Special Issue*, 39: 1307-1310.
- ❖ Vital, H.; Lima, Z.M.C.; Silveira, I.M.; Amaro, V.E.; Souto, M.V.S., 2003. Barrier-spit system from the northern Rio Grande do Norte State Coast, NE Brazil: A tectonic control? *Proceedings of the 3th Latinamerican Sedimentology Congress (Belém, PA)*, p.313-315.
- ❖ Vital, H., 2005. Erosão e progradação do litoral do Rio Grande do Norte. In: Muehe, D. (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, v. , p. 159-176.
- ❖ Vital, H.; Santos Neto, F.; Plácido Júnior, J.S., 2008. Morphodynamic of a Tropical Tidal Inlet: Case Study on the Rio Grande do Norte Coast, Northeast Brazil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 8, p. 113-123.
- ❖ Vital, H., 2009. The mesotidal barriers of Rio Grande do Norte. In: Dillemburg, S.; Hesp, P. (Org.). *Geology of Brazilian Holocene Coastal Barriers*. Springer-Verlag.. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, v. , p. 289-324.
- ❖ Weibel, R.; Heller, M., 1991. Digital Terrain Modeling. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. London: Longman, p. 269-297.



GEOPRO
Laboratório de
Geoprocessamento
PPGG - DG - UFRN

Programa de Pós-Graduação em
UFRN
Geodinâmica & Geofísica

ANEXOS



0. Formulário

Preparado por - Kátia Duarte Pereira (IBGE - Departamento de Geodésia)
Data - 2 – fevereiro – 2000
Atualização - 25 – fevereiro – 2005
Inclusão das coordenadas em SIRGAS2000

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - Recife
Ident. da Estação - RECF
Inscrição no Monumento - chapa de metal cravada na face sul, inscrição SAT 93110
Código Internacional - 93110
Informações Adicionais - Esta estação pertence a Rede de Referência SIRGAS e à Rede de Densificação do IGS

2. Informação sobre a localização

Cidade - Recife
Estado - Pernambuco

Informações Adicionais - A estação consiste de um pilar de concreto dotado de dispositivo de centragem forçada, localizado no telhado do prédio da biblioteca, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco –UFPE.

3. Coordenadas oficiais

3.1) SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Latitude:	8° 03' 03,4697" S	Sigma:	0,001 m
Longitude:	34° 57' 05,4591" W	Sigma:	0,002 m
Alt.Elip.:	20,18 m	Sigma:	0,002 m
Alt.Orto.:	26,07 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2004
UTM (N):	9.109.554,895 m		
UTM (E):	284.931,043 m		
MC:	- 33		

3.2) SAD-69

Latitude:	8° 03' 01,9813" S	Sigma:	0,026 m
Longitude:	34° 57' 04,3018" W	Sigma:	0,026 m
Alt.Elip.:	48,74 m	Sigma:	0,028 m
Alt.Orto.:	26,12 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2004
UTM (N):	9.109.597,729 m		
UTM (E):	284.965,491 m		
MC:	- 33		

4. Informações do equipamento GPS

4.1 Receptor

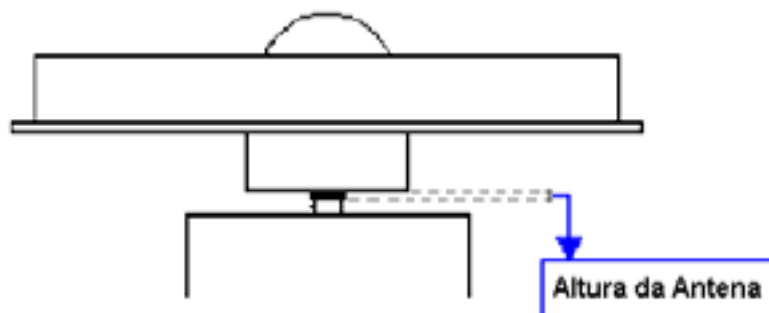
4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI
Número de Série - 16740

Versão do Firmware - 7.29
Data de Instalação - 06 - julho - 1999

4.2 Antena

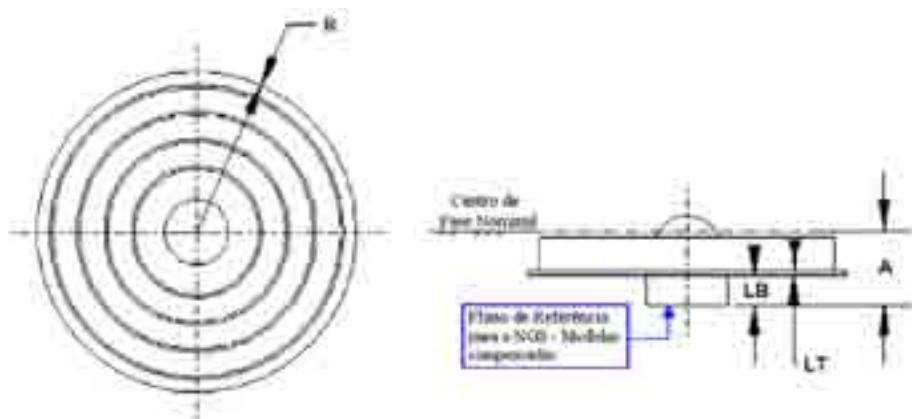
- 4.2.1 Tipo de Antena: - DORNE MARGOLIN T
Número de Série: - 70175
Altura da Antena (m): - 0.070 m (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)
Data de instalação - 04 - setembro - 2004
Observação: - Utiliza base nivelante adaptada a dispositivo de centragem forçada.
- 4.2.2 Tipo de Antena: - DORNE MARGOLIN T
Número de Série: - 70175
Altura da Antena (m): - 0.129 m (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)
Data de instalação - 06 - julho - 1999
Data da troca - 03 - setembro - 2004
Observação: - Utiliza base nivelante adaptada a dispositivo de centragem forçada.

4.2.3 Esquema da Altura da Antena



4.2.4 Esquema da Antena

Diagrama do plano de referência da antena Dorne Margolin T
Identificação IGS: TRM 29659



Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,1100	Distância da base da antena ao centro de fase nominal da frequência L1
LB	0,0350	Distância entre os anéis internos
LT	0,0031	Espessura da antena
R	0,1905	Distância do centro radial da antena a extremidade exterior do prato.

Observação:

1. O centro de fase nominal é o plano de referência utilizado para corrigir a fase nas tabelas Trimble.
2. O fabricante informa que valor do centro de fase nominal não está relacionado com os valores de calibração relativa da antena estimado pelo NGS.
3. O NGS possui um projeto com o objetivo de fornecer um procedimento padrão e consistente na determinação dos valores do centro de fase e da variação do centro de fase (pvc)..
4. Calibrações de outras fontes não devem ser misturadas com os resultados do NGS.

5. Rede Local

Não estabelecida

6. Informações Complementares

6.1 - Para informações técnicas contatar:

Nome - IBGE/ DGC/ Coordenação de Geodésia
Endereço - Av. Brasil, 15671, CEP 21241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone - (21) 21 42 49 29
Fax - (21) 21 42 48 59
Home Page - www.ibge.gov.br
Contato - rbmc@ibge.gov.br

6.2 - Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome - Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço - Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefones - 0800 21 81 81
Fax - (21) 21 42 49 33
Contatos - ibge@ibge.gov.br

6.3 -Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

CEFET/ UNEDI	-	Centro Federal de Educação Tecnológica/ Imperatriz
CEMIG	-	Companhia Energética de Minas Gerais
CONDER	-	Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
EPUSP	-	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Exército Brasileiro	-	Diretoria do Serviço Geográfico do Exército/ 4a. DL - Manaus
FNMA	-	Fundo Nacional do Meio Ambiente
IME	-	Instituto Militar de Engenharia
INPE	-	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Cuiabá e Euzébio
Marinha do Brasil	-	Capitania dos Portos/ Bom Jesus da Lapa
Pró Guaíba	-	Fundo Pró-Guaíba, Governo do estado do Rio Grande do Sul
SIPAM	-	Sistema de Proteção da Amazônia
UFPE	-	Universidade Federal de Pernambuco
UFPR	-	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	-	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	-	Universidade Federal de Santa Maria
UFV	-	Universidade Federal de Viçosa
UNESP	-	Universidade Estadual Paulista/ Campus de Presidente Prudente
URCA	-	Fundação Universidade Regional do Cariri

7. Estações da RBMC

Estado	Cidade	Identificação da Estação	Código Internacional
Amazonas	Manaus	MANA	91300
Bahia	Salvador	SALV	93111
	Bom Jesus da Lapa	BOMJ	93030
Ceará	Fortaleza	FORT	92009
	Crato	CRAT	92300
Distrito Federal	Brasília	BRAZ	91200
Maranhão	Imperatriz	IMPZ	92165
Mato Grosso	Cuiabá	CUIB	92583
Minas Gerais	Viçosa	VICO	91696
	Gov. Valadares	GVAL	91932
	Montes Claros	MCLA	91929
	Varginha	VARG	91930
	Uberlândia	UBER	91909
Pará	Belém	BELE	93620
Paraná	Curitiba	PARA	91105
Pernambuco	Recife	RECF	93110
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RIOD	91720
Rio G. do Sul	Porto Alegre	POAL	91850
	Santa Maria	SMAR	92013
São Paulo	Pres. Prudente	UEPP	91559



0. Formulário

Preparado por - Kátia Duarte Pereira (IBGE/ DGC/ Coordenação de Geodésia)
Data - 05 – fevereiro – 2001
Atualização - 25 – fevereiro – 2005
Inclusão das coordenadas em SIRGAS

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - Crato
Ident. da Estação - CRAT
Inscrição no Monumento - Não há inscrição
Código Internacional - 92300
Informações Adicionais - Esta estação pertence à Rede de Referência do SIRGAS e a Rede de Densificação do IGS.
Estação coincidente com a RN _____ que se encontra em cálculo

2. Informação sobre localização

Cidade - Crato
Estado - Ceará
Informações Adicionais - A estação consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada, localizado no Campus da Universidade Regional do Cariri (URCA).

3. Coordenadas oficiais

3.1) SIRGAS2000 (Época 2000,4)

Latitude:	7° 14' 16,8673" S	Sigma:	0,001 m
Longitude:	39° 24' 56,1798" W	Sigma:	0,002 m
Alt.Elíp.:	436,05 m	Sigma:	0,002 m
Alt.Orto.:	446,58 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2004
UTM (N):	9.199.917,893 m		
UTM (E):	454.119,207 m		
MC:	- 39		

3.2) SAD-69

Latitude:	7° 14' 15,4144" S	Sigma:	0.0210 m
Longitude:	39° 24' 54,8826" W	Sigma:	0.0211 m
Alt.Elíp.:	462,29 m	Sigma:	0.0226 m
Alt.Orto.:	446,57 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2004
UTM (N):	9.199.959,790 m		
UTM (E):	454.158,780 m		
MC:	- 39		

4. Informações do equipamento GPS

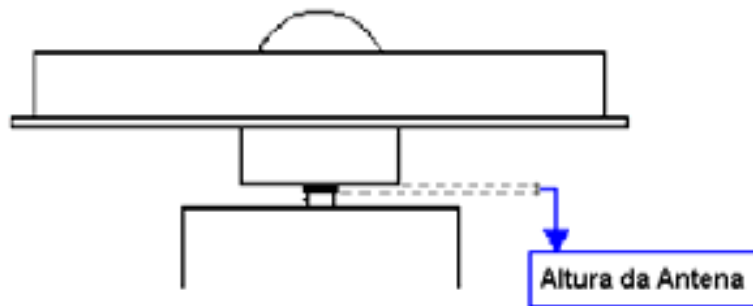
4.1. Receptor

- | | | | |
|-------|--------------------|---|-----------------|
| 4.1.1 | Tipo do Receptor | - | TRIMBLE 4000SSI |
| | Número de Série | - | 24840 |
| | Versão do Firmware | - | 7.29 |
| | Data de Instalação | - | 09-maio-2000 |

4.2 Antena

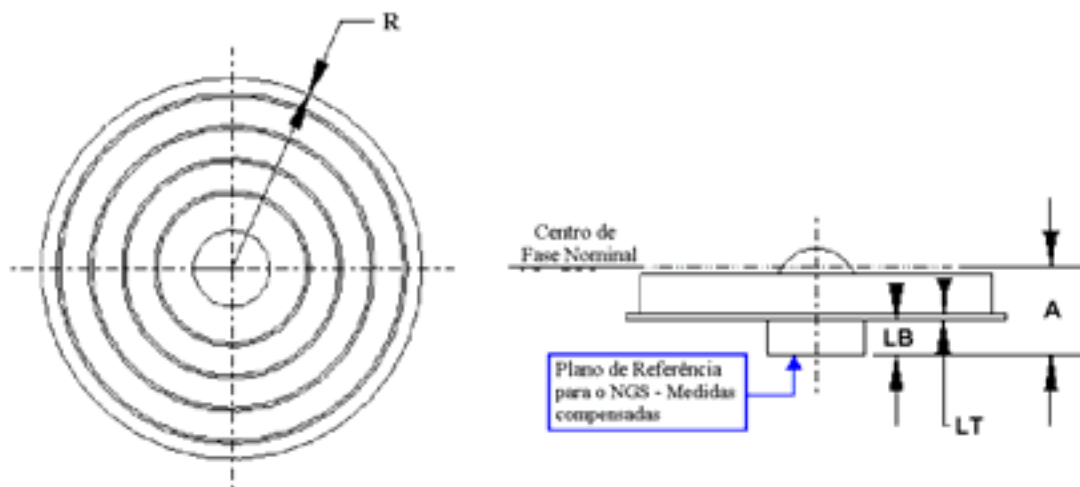
- | | | | |
|-------|----------------------|---|---|
| 4.2.1 | Tipo de Antena | - | DORNE MARGOLIN T |
| | Número de Série | - | 29659 |
| | Altura da Antena (m) | - | 0.007(distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo.) |
| | Data de instalação | - | 08-maio-2000. |

4.2.2 Esquema da Altura da Antena



4.2.3 Esquema da Antena

Diagrama do plano de referência da antena Dorne Margolin T
Identificação IGS: TRM 29659





Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,1100	Distância da base da antena ao centro de fase nominal da frequência L1
LB	0,0350	Distância entre os anéis internos
LT	0,0031	Espessura da antena
R	0,1905	Distância do centro radial da antena a extremidade exterior do prato.

Observação:

1. O centro de fase nominal é o plano de referência utilizado para corrigir a fase nas tabelas Trimble.
2. O fabricante informa que valor do centro de fase nominal não está relacionado com os valores de calibração relativa da antena estimado pelo NGS.
3. O NGS possui um projeto com o objetivo de fornecer um procedimento padrão e consistente na determinação dos valores do centro de fase e da variação do centro de fase (pvc)..
4. Calibrações de outras fontes não devem ser misturadas com os resultados do NGS.

5. Rede Local

- Estações - 92301, 92302, 92303, 92304 e 92305
Data de Observação - 19-maio-2000.

6. Informações Complementares

6.1- Para informações técnicas contatar:

- Nome - IBGE/ DGC/ Coordenação de Geodésia
Endereço - Av. Brasil, 15671, CEP 21241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone - (21) 21 42 49 29
Fax - (21) 21 42 48 59
Home Page - www.ibge.gov.br
Contato - rbmc@ibge.gov.br

6.2 - Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

- Nome - Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço - Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefones - 0800 21 81 81
Fax - (21) 21 42 49 33
Contatos - ibge@ibge.gov.br

6.3 -Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

- CEFET/ UNEDI - Centro Federal de Educação Tecnológica/ Imperatriz
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais
CONDER - Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Exército Brasileiro - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército/ 4a. DL - Manaus



- FNMA - Fundo Nacional do Meio Ambiente
- IME - Instituto Militar de Engenharia
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Cuiabá e Euzébio
- Marinha do Brasil - Capitania dos Portos/ Bom Jesus da Lapa
- Pró Guaíba - Fundo Pró-Guaíba, Governo do estado do Rio Grande do Sul
- SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia
- UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
- UFPR - Universidade Federal do Paraná
- UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFSM - Universidade Federal de Santa Maria
- UFV - Universidade Federal de Viçosa
- UNESP - Universidade Estadual Paulista/ Campus de Presidente Prudente
- URCA - Fundação Universidade Regional do Cariri

7. Estações da RBMC

Estado	Cidade	Identificação da Estação	Código Internacional
Amazonas	Manaus	MANA	91300
Bahia	Salvador	SALV	93111
	Bom Jesus da Lapa	BOMJ	93030
Ceará	Fortaleza	FORT	92009
	Crato	CRAT	92300
Distrito Federal	Brasília	BRAZ	91200
Maranhão	Imperatriz	IMPZ	92165
Mato Grosso	Cuiabá	CUIB	92583
Minas Gerais	Viçosa	VICO	91696
	Gov. Valadares	GVAL	91932
	Montes Claros	MCLA	91929
	Varginha	VARG	91930
	Uberlândia	UBER	91909
Pará	Belém	BELE	93620
Paraná	Curitiba	PARA	91105
Pernambuco	Recife	RECF	93110
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RIOD	91720
Rio G. do Sul	Porto Alegre	POAL	91850
	Santa Maria	SMAR	92013
São Paulo	Pres. Prudente	UEPP	91559