

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

FRANCISCO JAIME BEZERRA MENDONÇA

**POSICIONAMENTO DE ALTA RESOLUÇÃO – ADEQUAÇÃO E
APLICAÇÃO À MORFOLOGIA COSTEIRA**

Orientadora : Dr^a Carmen Medeiros

RECIFE – 2005

FRANCISCO JAIME BEZERRA MENDONÇA

**POSICIONAMENTO DE ALTA RESOLUÇÃO – ADEQUAÇÃO E
APLICAÇÃO À MORFOLOGIA COSTEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco sob a orientação da Prof^a Dr^a Carmen Medeiros, para preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciências, na área de Oceanografia Abiótica.

RECIFE – 2005

M539 Mendonça, Francisco Jaime Bezerra

Posicionamento de alta resolução: adequação e aplicação à morfologia costeira / Francisco Jaime Bezerra Mendonça . – Recife: O Autor, 2005.

xiii, 94 f.:figs., gráfs., tabs.

Inclui bibliografia.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Depto. De Oceanografia, 2005.

1. Oceanografia física. 2. Linha de Costa. 3. GPS. 4. Precisão. I. Título.

551.46 CDD (22 ed.)

UFPE/BCTG/2005-31

**POSICIONAMENTO DE ALTA RESOLUÇÃO – ADEQUAÇÃO E
APLICAÇÃO À MORFOLOGIA COSTEIRA**

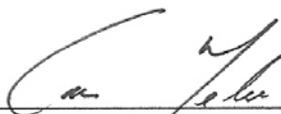
por

FRANCISCO JAIME BEZERRA MENDONÇA

Engenheiro Agrimensor -1967

Mestre em Ciências Geodésicas-1984

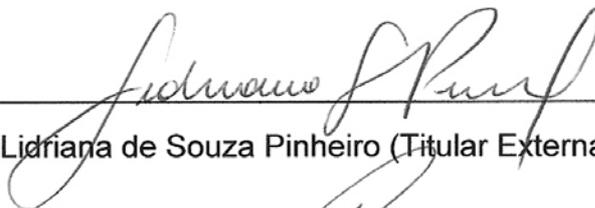
Tese defendida em 28 de Fevereiro de 2005 e aprovada em conteúdo e estilo pela banca examinadora abaixo assinada:



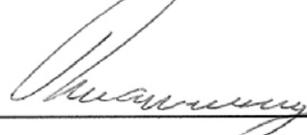
Dra. Carmen Medeiros (Orientadora e Titular PPGO)



Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo (Titular PPGO)



Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Titular Externa)



Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso (Titular Externo)



Dra. Verônica Maria Costa Romão (Titular Externo)

"Seja qual for o seu sonho - comece. A ousadia tem genialidade, poder e magia.", Goethe.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela realização de um sonho.

À minha orientadora a Prof^a. Carmen Medeiros por ter me orientado no trabalho nos últimos quatro anos e pelo contínuo incentivo.

Ao apoio de meus familiares, em particular a minha esposa Genisete.

Aos colegas docentes e técnicos do Departamento de Engenharia Cartográfica que sempre me apoiaram.

À todos os professores do Programa de Pós-graduação em Oceanografia –PPGO que além do conhecimento passaram compromisso e amizade.

À Agência CONDEPE/FIDEM a qual cedeu mapas e fotos da área pesquisada.

À FADE-UFPE que com uma condução viabilizou diversas vezes a viagem até Itamaracá.

Ao Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE – ITEP, pela cessão de dados meteorológicos da área.

À todos aqueles que contribuíram diretamente para a concretização da pesquisa de campo que exigiu mais de 25 deslocamentos até o local das medições sempre com vários equipamentos e acessórios. Esse trabalho só foi possível devido ao apoio dos meus filhos Jaime Júnior, Rafael e Amanda, do meu amigo Marcelo Rollnic, da professora Andréa Seixas, da colega de mestrado Neves, da bolsista Patrícia de Geografia e de um “batalhão” de alunos de Engenharia Cartográfica, alguns já graduados: Cláudio David, Ivan, Fernando, Silvane, Flávio Antão, Porfírio, Miguel, Tony, Silas, Eduardo, Edla, Mirele, Márcia, Carol, Alison, Fabio Andre, Fábio Fernandes, Luciano, Vladimir, Verônica Wilma.

Aos que contribuíram na etapa final do trabalho nas figuras, revisões e sugestões, minha filha Talita, Fernando e os estudantes Ivan e Aldo Bezerra.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivos Específicos.	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Posição Relativa entre Terras e Águas.	4
3.2. As Paleolinhas de Costa.	5
3.3. Métodos de Medição e Sistemas de Referência.	6
3.3.1. Método Topográfico de levantamento e o Sistema de Referência.	6
3.3.2. Método Fotogramétrico.	8
3.4. Tecnologia GPS	12
3.4.1. O Projeto NAVSTAR-GPS.	12
3.4.2. Receptores GPS	13
3.4.3. Medições na Tecnologia GPS.	14
3.4.4. Métodos de Posicionamento GPS.	15
3.4.4.1. Posicionamento Absoluto	15
3.4.4.2. Posicionamento Relativo.	15
3.4.4.3. Posicionamento Relativo Cinemático	16
3.5. Sistemas de Coordenadas de Referência.	16
3.5.1. Sistema de Coordenadas Geodésicas.	16
3.5.2. O Sistema Geodésico Brasileiro - SGB.	18
3.5.3. O Sistema de Coordenadas do GPS.	19
3.5.4. Ligação entre os Diferentes Sistemas	19
3.5.5. Sistema de Coordenadas Planas UTM	22
3.5.6. Altitude no Sistema GPS e o Geóide no Sistema Geodésico Brasileiro.	22
4. METODOLOGIA PROPOSTA	24
4.1. A Definição do Local de Medição da Linha de Costa.	24
4.2. O Método de Posicionamento com GPS.	25
4.3. Computação Gráfica.	26
5. ÁREA DE ESTUDO	28
5.1. Setor Sul da Ilha de Itamaracá.	29

5.2.	Clima.	30
5.3.	A Geologia.	30
5.4.	O Ambiente Marinho.	32
6.	MONITORAMENTO FOZ DO RIO TIMBÓ - FORTE ORANGE (1969 – 2004)	34
6.1.	Introdução.	34
6.2.	Local.	37
6.3.	Detalhamento da Metodologia.	38
6.3.1.	A Identificação da Documentação.	38
6.3.2.	Digitalização da Carta.	39
6.3.3.	Adequação do Sistema de Referência.	39
6.3.4.	As Cartas Digitais da Agência CONDEPE/FIDEM.	40
6.3.5.	Levantamento com Receptores GPS.	41
6.4.	Discussão.	41
6.4.1.	Discussão em dois Períodos.	42
6.4.1.1.	Primeiro Período de Dezenove Anos (1969-1988).	43
6.4.1.2.	Segundo Período de Dezesesseis Anos (1988-2004).	44
6.4.2.	As Tendências para o Comportamento da Linha de Costa.	47
7.	MORFODINÂMICA DA ILHA DA COROA DO AVIÃO ENTRE NOV/2000 MAIO/2004	50
7.1.	Introdução.	50
7.2.	Detalhamento da Metodologia.	52
7.2.1.	Identificação da Linha de Costa.	52
7.2.2.	Equipamento e Método.	53
7.3.	Os Resultados.	54
7.4.	Discussão.	57
7.4.1.	A Ilha da Coroa do Avião sob ação das Condições Naturais.	57
7.4.2.	Instalação de um Píer na Ilha da Coroa do Avião.	58
7.4.3.	O Período Completo, os 42 meses, entre Novembro de 2000 e Abril de 2004.	61
7.4.4.	A Migração das Linhas de Costa.	62
7.4.5.	O Desequilíbrio no Ambiente com a Intervenção Antrópica.	64
7.4.5.1.	Análise Tridimensional junto ao Píer.	66
7.4.6.	Monitoramento da Ilha da Coroa Ampliado para 16 anos.	67
7.4.7.	O Transporte Eólico e a Morfologia.	68
7.4.7.1.	Os Parâmetros Estatísticos Granulométricos.	68
7.4.7.2.	A Análise Granulométrica.	69
7.4.7.3.	As Equações de Bagnold.	70
7.4.8.	A Ilha em três Dimensões.	72
7.4.9.	Diagnóstico e Visualização de Tendências para a Ilha da Coroa do Avião.	78
8.	ACURÁCIA E PRECISÃO DO MÉTODO	80
9.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Medição da linha de costa pelo método topográfico.	6
Figura 2.	Charles Meaney e equipe foto de 1919.	7
Figura 3.	Esquema de obtenção de coordenadas dos pontos.	8
Figura 4.	A representação de superfície do terreno em um mapa.	9
Figura 5.	Diferenças entre um mapa e uma foto aérea vertical.	10
Figura 6.	Duas fotos áreas com o recobrimento de 60% com o canto da muralha do forte Orange identificado nas duas imagens.	11
Figura 7.	Esquematização dos satélites GPS em suas órbitas.	13
Figura 8.	Sistema de coordenadas geodésicas Φ , λ e h e coordenadas cartesianas tridimensionais X, Y e Z.	17
Figura 9.	Fluxograma com as transformações entre os sistemas WGS-84 e SAD-69.	20
Figura 10.	Mapa Geoidal do Brasil.	23
Figura 11.	Indicadores físicos que demarcam a linha de costa.	25
Figura 12.	Metodologia para determinar o deslocamento médio entre linhas de costa.	27
Figura 13.	Imagem LandSat-7 ETM, combinação das bandas 5,4,3 de 10/09/ 2001, com a área entre a foz do rio Timbó e o canal de Santa Cruz.	28
Figura 14.	Fotografia aérea vertical escala original 1: 6.000, de 26/08/98, da Agência CONDEPE/FIDEM.	29
Figura 15.	Mapa geológico do Quaternário costeiro do norte do Estado de Pernambuco. . .	31
Figura 16.	Fotografia aérea vertical da área entre a foz do rio Timbó e a praia de São Paulo. Escala original 1:30.000 de dezembro de 1969.	35
Figura 17.	Fotografia aérea vertical da área entre a foz do rio Timbó e a praia de São Paulo. Escala original 1:30.000 de marco de 1988.	36
Figura 18.	Imagem LandSat-7 ETM, combinação das bandas 5,4,3 de 10/09/ 2001, com a área do entorno da ilha de Itamaracá.	37
Figura 19.	Pintura de Frans Post de 1637. Visualiza a entrada do canal de Santa Cruz a partir do continente com a visão do forte Orange.	38
Figura 20.	Vista de ilha de Itamaracá. Papel aquarelado de 47,6 x 69 cm de 1660.	39
Figura 21.	O mapa de 1969 digitalizado no seu sistema original (Hayford), à esquerda, e convertido para o sistema SAD-69, à direita, em coordenadas planas UTM.	40
Figura 22.	Carta digital da Agência CONDEPE/FIDEM com fotos de 1998, nomenclatura U1937600.	41
Figura 23.	Os aterros identificados e quantificados na ortofotocarta de 1988, entre (1969-1988). . .	43
Figura 24.	Combinação entre a linha de costa de 1969 com a de 1988. Com as linhas de costa representadas por intervalos.	44
Figura 25.	Combinação entre a linha de costa de 1988 com a de 2004.	45
Figura 26.	Fotografia aérea de agosto de 1998 entre o Rio Paripe e o forte Orange.	46
Figura 27.	As alterações na parte continental entre agosto 1998 e agosto 2004.	48
Figura 28.	As alterações junto ao Forte Orange entre agosto 1998 e agosto 2004.	49
Figura 29.	Coroa do avião no final da década de setenta com muitos barcos.	51
Figura 30.	Coroa do avião no final da década de setenta com o antigo píer.	51
Figura 31.	Locais de medição da linha de costa na parte sul da ilha da Coroa do Avião.	52
Figura 32.	Locais de medição da linha de costa na parte norte da ilha da Coroa do Avião.	52
Figura 33.	Metodologia do levantamento cinemático diferencial com dois receptores GPS.	53
Figura 34.	As áreas acrescidas e erodidas na ilha da Coroa do Avião entre as medições das linhas de costa em 21/Nov/2000 e 08/Set/2002.	57
Figura 35.	Combinação das medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião, em 21 de novembro de 2000 e 08 de setembro de 2002, com o deslocamento do centróide para	58

	norte.	
Figura 36.	Combinação das medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião em 21 de novembro de 2000 e 17 de janeiro de 2003, com a identificação de erosão junto ao píer.	58
Figura 37.	Combinação das medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião, em 21 de novembro de 2000 e 20 de março 2003, com a quantificação da erosão junto ao píer.	59
Figura 38.	As ondas atingindo a extremidade oeste da ilha quando da maré de 2,5m em 03 de abril de 2003. Ao fundo, a estrutura do píer com a construção na ilha.	59
Figura 39.	Observa-se a erosão na extremidade oeste da ilha da Coroa do Avião. A vegetação da parte superior desce e é atingida pela água, após a maré de 2,5m, em 03 de abril de 2003.	60
Figura 40.	Observa-se uma intensa erosão no lado norte da ilha da Coroa do Avião, com a vegetação caindo da parte superior do barranco após a maré de 2,5m em 03 de abril de 2003.	60
Figura 41.	Linha de costa da ilha da Coroa do Avião em 07 de maio de 2004.	61
Figura 42.	As áreas acrescidas e erodidas na ilha da Coroa do Avião, durante todo o período de monitoramento, entre em 21 de novembro de 2000 e 07 de maio de 2004.	61
Figura 43.	O deslocamento do centróide da ilha da Coroa do Avião entre novembro 2000 e maio 2004.	62
Figura 44.	As seções entre as linhas de costa espaçadas de 5 em 5m.	63
Figura 45.	O avanço da erosão entre a vegetação.	63
Figura 46.	As áreas erodidas na ilha da Coroa do Avião em 20 de março de 2003 e em 07 de maio de 2004.	65
Figura 47.	As combinações na área sob influência do píer das alterações referentes a novembro 2000, considerando março de 2003 e maio de 2004.	66
Figura 48.	Levantamento tridimensional em abril de 2003 e maio 2004. A curva de nível em vermelho representa a maré máxima de 2,5 m e a em azul a de 1,0 m.	67
Figura 49.	Variação da forma e da área da ilha da Coroa do Avião em 16 anos (1988-2004).	67
Figura 50.	A posição dos pontos de coletas de sedimentos.	68
Figura 51.	A posição dos pontos altimétricos medidos e a linha de costa em maio de 2004.	73
Figura 52.	Pontos da rede de triangulação da interpolação linear de pontos para formar uma superfície.	73
Figura 53.	Perfil no sentido de oeste para leste no centro da ilha da Coroa do Avião.	74
Figura 54.	As doze seções transversais ao perfil central, espaçadas de 50 em 50m, a partir da extremidade oeste. O lado esquerdo da seção corresponde ao lado sul, o lado do Canal de Santa Cruz.	75
Figura 55.	Modelo tridimensional da ilha da Coroa do Avião observada do norte para o sul, a partir do Canal de Santa Cruz. A marca vermelha representa a maré 2,5 m.	76
Figura 56.	Modelo tridimensional da ilha da Coroa do Avião observada do sul para o norte, a partir do banco de areia para a ilha. A marca vermelha representa a maré 2,5 m.	77
Figura 57.	Grupos de 7 disparos efetuados contra um alvo.	80
Figura 58.	Curva de densidade de probabilidade de um processo de medição.	81
Figura 59.	Reta padrão e retas obtidas por 3 (três) observadores distintos.	83
Figura 60.	As seções transversais cortando as duas medições na praia de Boa Viagem e uma ampliação.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	As medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião entre os anos de 2000 e 2001. . .	54
Tabela 2.	As medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião no ano 2002.	55
Tabela 3.	As medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião entre os anos de 2003 e 2004 . .	56
Tabela 4.	Razão mensal do acréscimo (+) e da erosão (-) nos lados norte e sul da ilha da Coroa do Avião entre novembro de 2000 e maio de 2004.	64
Tabela 5.	Os deslocamentos médios da linha de costa, positivo (+) ao norte no local do acréscimo e negativo (-) ao sul norte nos locais de erosão, nos períodos discriminados	64
Tabela 6.	Resultado da análise no programa SYSGRAM de 18 coletas da coroa do avião	69
Tabela 7.	Velocidades limiar de cisalhamento e mínima do vento para manter o grão em saltação em todas as amostras coletadas.	71
Tabela 8.	Velocidade média e direção do vento mensal entre os anos 2001 e 2004. Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE – ITEP.	72
Tabela 9.	As medições por operador, com valores dos desvios mínimos, máximos e médios relativos à reta padrão e desvio padrão dessas medições.	82
Tabela 10.	Desvios médio e máximo e dispersão entre levantamentos da linha de costa em Boa Viagem por distintos operadores para intervalos de 200m.	86
Tabela 11.	Desvios entre levantamentos da linha de costa em Boa Viagem por distintos operadores para intervalos de 20m.	86
Tabela 12.	Estimativas de precisão na medição da linha costa com receptores GPS com o método cinemático diferencial pós-processado.	87

LISTA DE ABREVIATURAS

C/A	Coarse Acquisition
CAD	Computer Aided Design
Decart	Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco
DGPS	Diferencial GPS
DoD	Department of Defense
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NAVSTAR	Navigation Satellite with Time and Ranging
p	Precise or Protected
PPS	Precise Positioning Service
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RTK	Real Time Kinematic
SAD-69	South American Datum 1969
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SPS	Standard Positioning Service
UTM	Universal Transversa de Mercator
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS-84	World Geodetic System 1984

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

TESE DE DOUTORADO:

**POSICIONAMENTO DE ALTA RESOLUÇÃO – ADEQUAÇÃO
E APLICAÇÃO À MORFOLOGIA COSTEIRA**

Francisco Jaime Bezerra Mendonça

Carmen Medeiros (Orientadora)

RESUMO

A região costeira concentra grande potencial econômico e por sua importância para o desenvolvimento sustentável foi pauta da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, a Rio 92. A Agenda 21, documento básico deste encontro tem um Capítulo específico (Cap. 17) que trata da proteção dos oceanos e das zonas costeiras. Nele, propõe-se que todos os países realizem observações sistemáticas, façam estudos costeiros que identifiquem as áreas críticas, procurem se antecipar às intervenções antrópicas e acompanhem os projetos nela desenvolvidos. O presente trabalho enfoca o desenvolvimento e teste de metodologia empregando posicionamento espacial de alta resolução para a determinação e o monitoramento da posição da linha de costa, definida como a feição no plano horizontal de interface entre a área seca do continente, ou de uma ilha, com a área sob efetiva ação das águas. Utilizaram-se simultaneamente, pares de receptores GPS tipo geodésico, permanecendo um fixo em um local conhecido enquanto a antena do outro era deslocada sobre as feições que delimitam a linha de costa. As medições realizadas foram processadas de forma a gerar um banco de dados bidimensional da posição da linha da costa à data da medição. Dois ambientes foram monitorados: o trecho de costa entre a foz do rio Timbó e a entrada sul do canal de Santa Cruz e a ilha da Coroa do Avião. No primeiro, foram quantificadas as alterações ocorridas entre 1969 e 2004 (últimos 35 anos). Verificou-se que nos primeiros 19 anos (1969-1988) o aterro de uma área de 66,50ha no continente e o recuo da linha de costa na frente do forte Orange e posteriormente (1988-04) o avanço da erosão e desgaste das paredes da fortificação paralelamente ao aparecimento de um pontal arenoso imediatamente a norte do forte e ao recuo da linha de costa na parte continental. A ilha da Coroa do Avião, situada na frente da desembocadura sul do canal de Santa Cruz, foi monitorada por 42 meses (nov/00-maio/04) com dezenove medições de sua área emersa. A análise dos dados considerou duas fases distintas, antes e após a instalação de um píer na ilha em set/02, que desequilibrou a dinâmica local. A ilha, como um todo, vem migrando e girando, tendo a posição de seu centróide deslocando-se 11,62m para norte e 7,75m para oeste. Esse deslocamento resulta do efeito combinado de erosão de sua face sul e acreação de área emersa em sua face norte. A área erodida foi de 5741,89 m², a uma razão 136,71 m².mês⁻¹ e a área acrescida chegou a 6890,46 m², a uma razão de 164,04 m².mês⁻¹. Embora ao final do intervalo monitorado a variação total da área emersa tenha sido inferior a 5%, os deslocamentos ocorridos da linha de costa forçaram inicialmente, a relocação e, posteriormente, a retirada das instalações do museu e da base de pesquisa em aves migratórias da UFRPE. Verificou-se também que a instalação de um píer em set/02 provocou um recuo de 28,3m da extremidade oeste da ilha e continua desequilibrando o local. Apresenta-se uma previsão para a ilha da Coroa do Avião considerando além das medições das linhas de costa, um levantamento tridimensional, a análise granulométrica dos sedimentos e os dados de direção e velocidade dos ventos. A precisão e acuracidade da metodologia proposta para levantamento da linha de costa com uso de receptores GPS foi igualmente avaliada, considerando-se a facilidade de identificação e o grau de acesso ao local a ser medido. Em situações reais, a discrepância média no posicionamento da linha de costa por diferentes observadores foi de 12-16 cm quando a mesma estava bem identificada e acessível e de 51-78 cm em situações adversas. Em um campo de teste, a precisão média do método foi de 1,7 cm, variando pontualmente de 0,4 a 3,6 cm entre os vários observadores, enquanto a acuracidade média foi estimada em 0,5 cm (min.=0; max.=24cm). Considerando o desvio total, discrepâncias no posicionamento da linha de costa variaram de menos de 10 cm quando a linha era facilmente identificada e o acesso à área livre, a até 1m quando as condições de identificação e/ou acesso não eram ideais.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE PROGRAM IN OCEANOGRAPHY**

DOCTORAL THESIS:

**HIGH RESOLUTION POSITIONING – SUITABILITY AND
APPLICATION TO COASTAL MORPHOLOGY**

Francisco Jaime Bezerra Mendonça

Carmen Medeiros (Thesis Director)

ABSTRACT

The coastal zone concentrates a large economic potential and due to its importance to the sustainable development it was subject of discussion during the United Nations Conference on the Environment, Rio 92. The Agenda 21, the basic document generated during this conference, includes a specific chapter (Chap. 17) that deals with the protection of the oceans and coastal zones. In it, it is recommended that all countries conduct systematic observations and studies to identify critical areas and attempt to anticipate and monitor anthropic interventions along it. The present work focus on the development and test of a methodology employing high resolution spatial positioning to determine and monitor the shoreline position. The later defined as the feature at the horizontal plane corresponding to the interface between the dry area of the continent, or of an island, with the area under effective action of the water. A pair of geodesic GPS receptors was utilized, maintaining one at a fixed known location while the antenna of the other was displaced over the shoreline. The measurements were processed in a way to generate a 2-D databank of the position of the shoreline for the time of the measurement. Two areas were monitored: a coast stretch between the mouth of the Timbó river and the southern entrance of the Santa Cruz channel and the isle Coroa do Avião. At the first, the alterations occurred from 1969 and 2004 (last 35 years) were quantified. It was verified that during the first 19 years (1969-1988) a landfill of an area of 66.50 hectares in the continent and the retrocession of the shoreline in front of the fort Orange. Later, between 1988 and 2004, it was verified the progress of the erosion and the wear down of the fort Orange walls, simultaneously to the appearance of a sand spit immediately to the North of the fort and the retrocession of the shoreline in the continental portion. The isle Coroa do Avião, located by the southern entrance of the Santa Cruz channel, was monitored for 42 months (nov/00-may/04) with nineteen measurements of its emerged area. The data analyses considered two distinct phases, before and after the construction of a pier in the isle, in sept/2002, that destabilized the local dynamics. The isle, as a whole, has migrated and rotated. The position of its centroid had moved 11.62m to the north and 7.75m to the west. This displacement resulted from the combined effect of erosion along the southern isle shore and deposition along its northern shore face. The eroded area was of 5741.89 m², at a rate of 136.71 m²month⁻¹ and the accretion area was of 6890.46 m², at a rate of 164.04 m²month⁻¹. While by the end of the monitoring period the total variation of the emerged area was less than 5%, the displacements of the shoreline forced, initially, the relocation and later the removal of the installations of the museum and of the migratory bird research facility of the UFRPE. It was also verified that the installation of a pier in September/2002, cause a 28.3m retreat of the shoreline on the western extremity of the isle and the area still remains unstable. A prognostic is presented for the isle Coroa do Avião, considering besides the shoreline measurements, a 3-D survey, grain size analyses of its sediments and information on wind speed and direction. The precision and accuracy of the proposed methodology for shoreline positioning using GPS receptors was equally investigated taking into account the possibility of identification and degree of access to the local to be monitored. In real situation the average discrepancy between distinct observers in positioning shoreline was of 12-16 cm when it was easily identifiable and accessible and of 51-78 cm under adversity. In a field test, the average precision of the method was of 1.7 cm, varying punctually from 0.4 to 3.6 cm among distinct observers while the average accuracy of the method was estimated in 0.5 cm (min.=0.0; max.=24 cm). Considering the overall deviation, discrepancy in position the shoreline varied from less than 10 cm when shore line was easily identified and access to the area was free to up to 1m at location where shoreline identification and/or accesses was not ideal.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das alterações na linha de costa, dos avanços e recuos do oceano, torna-se mais do que um tópico de curiosidade científica. A sua ocorrência tem sido observada, em diversos locais, em um intervalo de tempo perceptível durante a vida humana.

A região costeira é afetada com o crescente aumento da população, maior que em outros locais, devido à busca por áreas de lazer. A ocupação não fica restrita a uma faixa afastada do alcance das águas. As terras adjacentes ao oceano são definidas como públicas, pertencentes ao patrimônio da União, e denominadas terras de marinha, conforme o Decreto-Lei nº 4.120, de 21 de fevereiro de 1942, alterado pelo Dec. Lei nº 5.666/15.07.1943. (BRASIL, 1943).

A falta de fiscalização, associada ao fato de extenso trecho da costa brasileira não ser susceptível a desastre natural, como furações e tempestades, permitiu que a praia, em muitos locais, fosse completamente ocupada. Como consequência da ocupação inadequada, as variações naturais da linha de costa, em muitos locais, passam a atingir edificações e vias, sendo criado mais um problema para as administrações municipais. As prefeituras estão despreparadas para responderem a demanda e fazem, ou autorizam fazer, obras de contenção que em muitos casos, não solucionam os problemas, mas os agravam e /ou transferem a erosão para áreas adjacentes.

A comunidade científica mantém desde 1933 o Serviço Permanente para o Nível Médio dos Mares “PSMLS- Permanent Service for Mean Sea Level”, com um banco de dados global. Não é consenso entre os pesquisadores, um aumento geral do nível do mar que afetaria as linhas de costa de forma planetária. DIEZ (2000) ao fazer uma revisão de alguns conceitos envolvidos no problema da ascensão do nível do mar concluiu pela necessidade de uma melhor correção para os dados dos marégrafos considerando a geodinâmica. SUGUIO *et al.* (1985) admite não ser possível uma curva geral de flutuação para o nível do mar e indica a necessidade de pesquisas locais ou regionais.

MUEHE e NEVES (1995) ao analisarem as implicações do aumento do nível do mar na costa brasileira apontam a necessidade da implementação de pesquisas que permitam determinar alterações contemporâneas da costa numa perspectiva de longo prazo. Indicam em suas conclusões, entre outras, a criação de programas de gerenciamento costeiro, o aumento no número de marégrafos e “*Estabelecer uma metodologia para observar (e quantificar) a evolução da linha de litoral, áreas de manguezais e outras características costeiras*”.

A posição da linha de costa representada por um banco de dados composto de coordenadas planas representativas de sua posição em uma determinada data é um referencial de medição que possibilita: o monitoramento para períodos curtos; o recuo no tempo a partir da análise de documentação cartográfica existente e um prognóstico para o comportamento da linha de costa quando associado a informações morfodinâmicas e ambientais

O presente trabalho está organizado a partir da introdução e dos objetivos. No Capítulo 3 apresenta-se o referencial teórico com ênfases na questão da posição relativa entre terras e águas e nos procedimentos de medição da linha de costa, com destaque para a tecnologia GPS, e na descrição dos sistemas de referência e suas transformações.

No Capítulo 4 é descrita a metodologia geral com a definição do local de medição, do método GPS mais adequado e da computação gráfica para trabalhar dados espaciais. No Capítulo 5 área de estudo é descrita com suas características geológicas, climáticas e hidrodinâmicas.

Nos capítulos 6 e 7 são apresentados os resultados de duas pesquisas. No primeiro é determinado e analisado o movimento da linha de costa dos últimos 35 anos, entre 1969 e 2004, entre a foz do rio Timbó e a entrada sul do canal de Santa Cruz. No capítulo 7 o monitoramento dos da área emersa da ilha da Coroa do Avião em 44 meses, entre novembro de 2000 e maio de 2004, com uma análise tridimensional e a apresentação de um prognóstico para o seu comportamento.

O Capítulo 8 faz uma a análise das questões relativas à precisão da metodologia do uso de receptores de GPS na medição da linha de costa e o no Capítulo 9 são apresentadas as conclusões e as recomendações.

2. OBJETIVOS

A presente pesquisa tem por objetivo principal o estabelecimento de uma metodologia científica para determinar a posição da linha de costa com o método do posicionamento GPS preciso.

2.1. Objetivos Específicos

- Quantificar as alterações na linha de costa nos últimos 35 anos, entre 1969 e 2004, no litoral norte do Estado de Pernambuco, entre a foz do rio Timbó e o canal de Santa Cruz, a partir da medição em mapas, da transformação de Sistemas de Referência, de um levantamento com GPS e da sua análise espacial.
- Identificar o comportamento morfológico da extremidade sul da Ilha de Itamaracá nos últimos 35 anos, entre 1969 e 2004, entre a foz do rio Paripe e a praia de São Paulo, a partir da cartografia existente e do levantamento com receptores de GPS.
- Monitorar os movimentos relativos e absolutos da ilha da Coroa do Avião, no período de 42 meses, entre novembro de 2000 e maio de 2004, com a identificação e os levantamentos das feições que demarcam a linha de costa com receptores de GPS.
- Avaliar a exatidão (ou acuidade) e a precisão do método de medição com receptores GPS na determinação da linha de costa.
- Levantar tendências e oferecer prognósticos para os ambientes monitorados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Posição Relativa entre Terras e Águas

A posição relativa do nível dos oceanos e mares e suas margens nos continentes e ilhas dependente, em curto período, da combinação dos forçantes astronômicos e movimento relativos dos corpos celestes, que determinam as marés astronômicas e das condições meteorológicas, que determinam as marés meteorológicas. Para períodos seculares e milenares, a posição do nível do mar não deve ser analisada simplesmente de maneira absoluta, e sim de maneira relativa, considerando também o movimento das placas continentais. Dentre os principais fatores que atuam nos continentes e nos oceanos e que determinam a posição do nível do mar, tem-se:

- Nos continentes, os movimentos tectônicos horizontais e/ou verticais, que são de ocorrências instantâneas, quando sísmicas e em períodos mais longos no caso dos deslocamentos das placas tectônicas e os movimentos isostáticos devido às variações de carga em consequência da acumulação de depósitos em bacias sedimentares, da erosão ou do descongelamento polar;
- Nos oceanos, o nível da água depende principalmente da alteração do volume, causada por glaciações ou degelos das calotas polares e da modificação das bacias oceânicas em consequência da tectônica de placas.

A afirmação de SUGUIO (1985) de que o nível do mar em determinado ponto do litoral é a resultante momentânea de interações complexas entre a superfície do oceano e do continente, resume as interações entre os continentes e mares e oceanos.

A medição das alterações da superfície do mar é o principal sensor da superfície equipotencial de referência do campo da gravidade, denominada de geóide (TEUNISSEN, 1998; SEEBER, 1993). O geóide é uma superfície dependente das forças gravitacionais e da rotação da terra sendo constantemente modificado pela dinâmica planetária. Na parte continental as suas alterações são de difícil observação devido sua combinação com movimentos isostáticos e tectônicos.

Os satélites artificiais com suas missões altimétricas aumentaram significativamente as informações das alterações globais e sinóticas do geóide marinho. O primeiro radar altimétrico foi o GEOS-3 (1975-1978) com a precisão de 25cm, seguido pelo SEASAT(1978) e a missão GEOSAT(1985-1989). A nova geração formada pelos satélites ERS-1 e ERS-2 e o TOPEX/Poseidon (TOPography EXperiment for ocean circulation) possibilita medidas de variações do nível do mar com precisão melhor que 5(cinco) cm, (CATALÁN, 1999; CHAMBERS, *at al.* 2002).

3.2. As Paleolinhas de Costa

A costa brasileira possui evidências de antigos níveis do mar com suas paleolinhas de costa. Os principais indicadores biológicos encontrados são: Amostras de gastrópodes vermetídeos encontrados em posição de vida incrustados sobre arenitos de praia; conchas bivalves e tocas de ouriços-do-mar em locais acima do nível máximo da água necessária para a vida desses animais. Além desses indicadores são encontrados depósitos arenosos marinhos acima da atual zona de sedimentação e sambaquis acumulados por antigos habitantes afastados do nível atual da água. Essas evidências sedimentológicas e pré-históricas são também importantes. As amostras biológicas são datadas a partir da análise dos níveis de carbono-14. A técnica é aplicável a sedimentos orgânicos, ossos, conchas marinhas e madeira, ou seja, todo material que conteve carbono em alguma de suas formas durante a vida. Como o exame se baseia na determinação de idade através da quantidade de carbono-14 e que esta diminui com o passar do tempo, o método só é viável até o limite de 70 mil anos (TEIXEIRA *et al.*, 2000).

Os resultados das pesquisas apontam na direção de que na região estudada o nível do mar já esteve mais elevado que o atual. No Quaternário recente, no Holoceno iniciado há 11.000 anos as evidências comprovadas por BITTENCOURT *et al.* (1979) e MARTIN *et al.* (2003) indicam que a última transgressão teve o seu máximo, na costa brasileira, em torno de 5.100 anos A.P. (Antes do Presente). DOMINGUEZ *et al.* (1990) acrescentou datações radiométricas na zona costeira do Estado de Pernambuco e concluiu que a região apresentava um comportamento evolutivo, no Holoceno. Este padrão já descrito em SUGUIO *et al.* (1985) diz que no litoral pernambucano, provavelmente, o nível relativo das águas no presente subiu cerca de 5m do seu máximo, por volta de 5000 anos A.P.

Pesquisa mais recente (SUGUIO *et al.*, 2004a) analisou 22 amostras entre os litorais de Pernambuco e Paraíba e determinou-se uma curva envolvente de “idade vs. Altura” com a indicação de que o máximo da última transgressão ocorreu entre 4.000 e 4.500 A.P. e que atingiu até 3 m acima do nível médio atual.

As pesquisas avançam resgatando posições, ainda mais antigas, da linha de costa. Em BARRETO *et al.* (2002), YEE *et al.* (2000) e SUGUIO *et al.* (2004b) onde são estudados terraços e dunas marinhas pleistocênicas com datação por termoluminescência (TL) e luminescência ótica estimulada (LOE). Este método é empregado em amostras não orgânicas a partir da energia luminosa liberada e que pode ser utilizado para datar objetos de até um milhão de anos. Os autores determinaram datações pleistocênicas e concluíram que a metodologia é mais adequada do que a correlação de níveis marinhos pleistocênicos somente com critérios geomorfológicos.

O avanço do nível do mar nos continentes é denominado de transgressão e o seu recuo de regressão. Ambos fenômenos são eventos geológicos de longo período associados aos períodos glaciais, interglaciais e ao tectonismo de placas. SUGUIO *et al.* (1985) faz uma analogia entre a terminologia e o ciclo mensal de variação da maré. Comparam as marés maiores, as marés de sizígia, com transgressões quando o mar avança sobre os continentes e as marés de quadratura com regressões e o recuo do mar.

3.3. Métodos de Medição e Sistemas de Referência

Os três métodos de medição mais utilizados na determinação das linhas de costa são apresentados com seus respectivos sistemas de referência, a topografia com a medição direta das feições da linha de costa, o método fotogramétrico que indiretamente mede nas fotografias aéreas e a mais recente tecnologia utilizando receptores de sinais GPS.

3.3.1. Método Topográfico de levantamento e o Sistema de Referência

A topografia estabelece um plano no local de medição e determina coordenadas cartesianas a partir de pontos fixos, os “polos”, - locais onde são estacionados os instrumentos para medição angular e de distância, (ESPARTEL, 1978; SILVA, 1990), como mostra a Fig. 1.

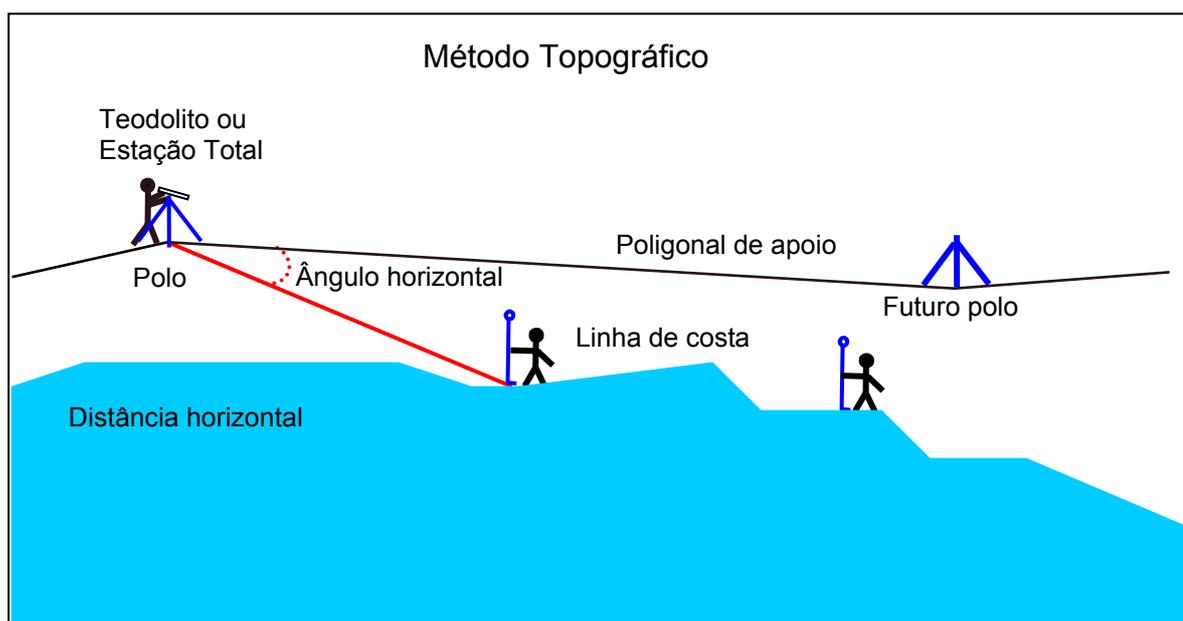


Figura 1. Medição da linha de costa pelo método topográfico

As medições realizadas são angulares e lineares. Os ângulos são obtidos por diferença de direções no plano do horizonte; e as distâncias são medidas horizontalmente, entre o local do instrumento e o ponto da linha de costa a ser determinado. O instrumento desloca-se acompanhando a linha de costa e o processo é controlado geometricamente com polígonos fechados ou coordenadas conhecidas nos extremos da área medida.

No Brasil não foram realizados levantamentos sistemáticos da linha de costa com o método topográfico, entretanto nos Estados Unidos da América, a partir de 1834, Ferdinand Hassler, o primeiro superintendente do levantamento da costa "Survey of the Coast", introduziu o processo e em 100 anos foi medida, praticamente, toda a costa americana, com exceção de parte do Alasca. Foram produzidos 10.000 mapas de grande importância para o monitoramento das alterações do último século (NOAA, 2004). A figura 2 obtida da biblioteca de fotos da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) mostra os equipamentos utilizados no início do século XIX.

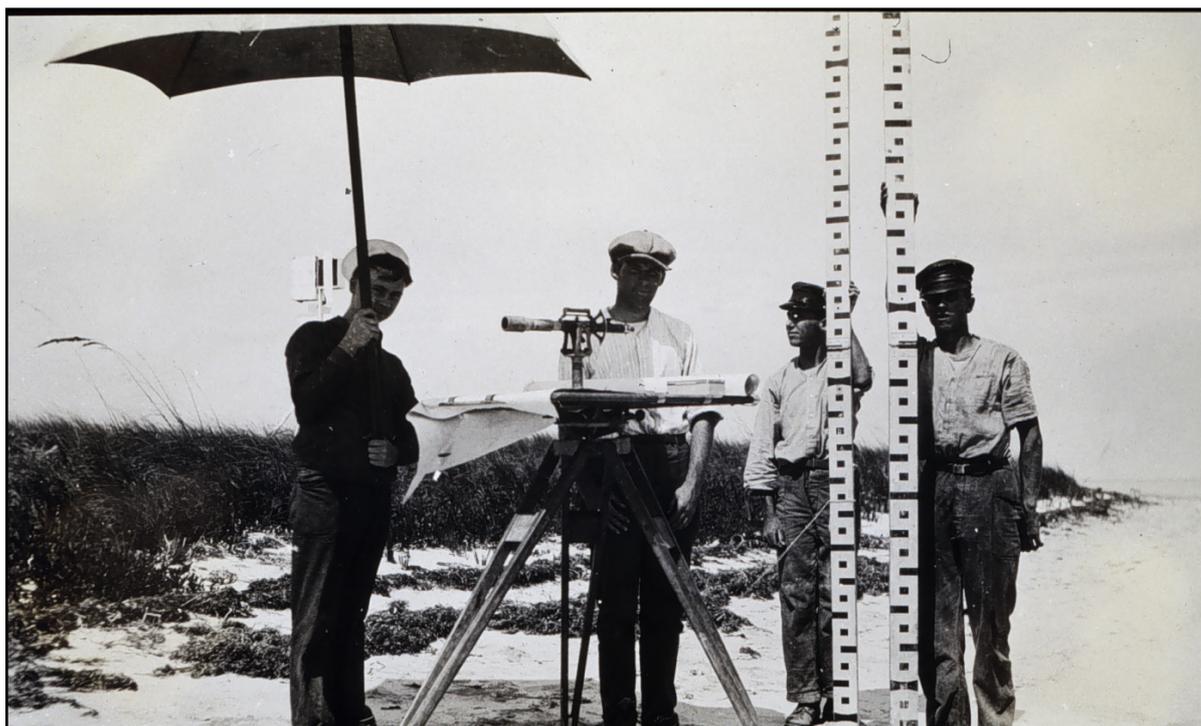


Figura 2. Charles Meaney e sua equipe (1919). FONTE: <http://www.ecy.wa.gov>

Os instrumentos para medição angular, os teodolitos, até o fim dos anos sessenta do século XX, eram totalmente mecânicos com leituras diretas em seus limbos. Com o advento da microeletrônica e da informática tiveram seus projetos totalmente modificados e atualmente são

denominados de Estações Totais. A medição angular é registrada com leitura eletrônica e foi associada também a possibilidade de determinar a distância através da emissão e do recebimento de uma onda eletromagnética que retorna de um espelho prismático posicionado no ponto a ser determinado.

As coordenadas dos pontos são obtidas determinando-se as projeções da distância medida (ponto 0 ao ponto 1) sobre os eixos X e Y que são acrescentadas às coordenadas das estações de origem (Fig. 3). O importante é que essas estações de origem (ou referência) estejam ligadas ao sistema de referência nacional. Os ângulos são referenciados à direção norte e são conhecidos como azimutes.

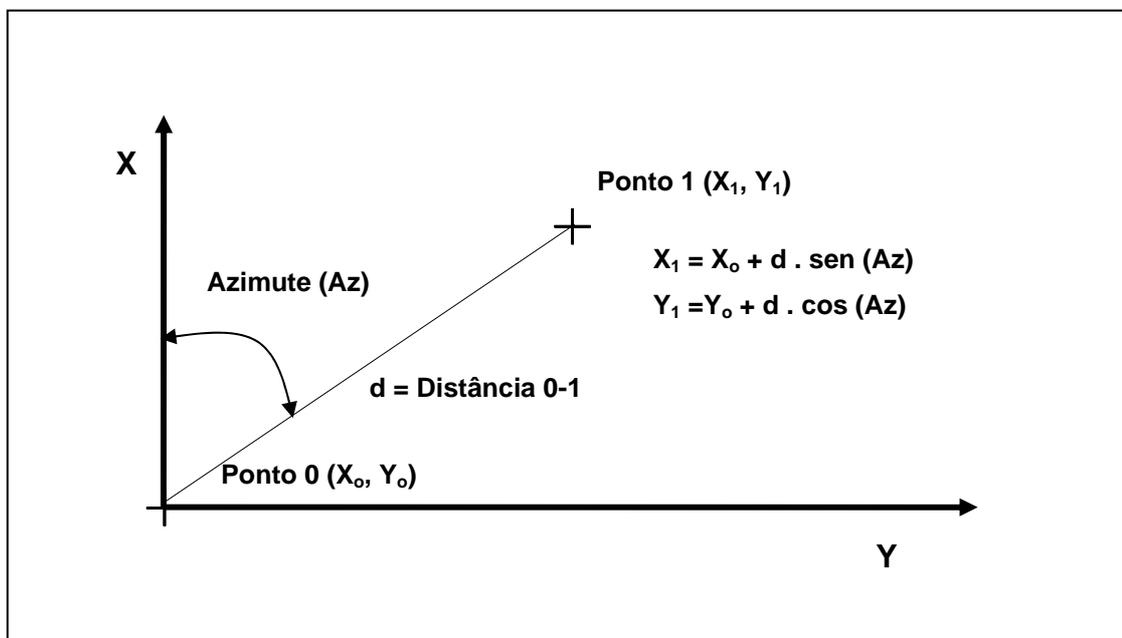


Figura 3. Esquema de obtenção de coordenadas dos pontos

3.3.2. Método Fotogramétrico

Em 1839, Louis Daguerre apresentou na Academia de Ciências de Paris o processo fotográfico desenvolvido em conjunto com o químico Nephère Niépce. Registrava imagens em placa de cobre sensibilizada com uma camada de prata e a revelação era realizada com vapor de iodo, quando a placa liberava uma camada de iodeto de prata proporcional à luz recebida e o processo completava com a fixação da imagem.

Com as fotos surge a possibilidade de um método indireto de medição. Em 1849, o coronel engenheiro francês Aimé Laussedat tirou fotos de Paris utilizando balões e em consequência de seu pioneirismo é considerado na comunidade como o primeiro a empregar a fotogrametria (WOLF, 1974; WOLF e DEWITT, 2000)

O processo fotográfico foi rapidamente se aperfeiçoando. A placa de cobre é inicialmente substituída para uma base de vidro e em 1891 o filme de rolo estava disponível. Com isso, Inicia-se a comercialização de máquinas fotográficas em larga escala, popularizando o que era restrito a especialistas.

Santos Dumont inventou o avião em 1906 e o seu uso e desenvolvimento foi imediato. Em 1913, fotos aéreas já são tiradas de aviões com o objetivo de mapear áreas. Durante a primeira guerra mundial é grande a sua expansão.

Geometricamente a foto aérea não é um mapa. Difere deste em duas características básicas: na projeção e na escala. O mapa topográfico é uma projeção ortogonal do terreno com uma escala única e a foto é obtida através de uma projeção cônica com somente o seu centro projetado ortogonalmente e a escala varia em função do relevo. Na figura 4, em um corte vertical, uma superfície está sendo representada em um mapa e na figura 5, o mesmo local é representado em uma foto aérea vertical. Observa-se que comprimentos iguais AB e CD, devido as diferenças no relevo, são fotografados em escalas diferentes.

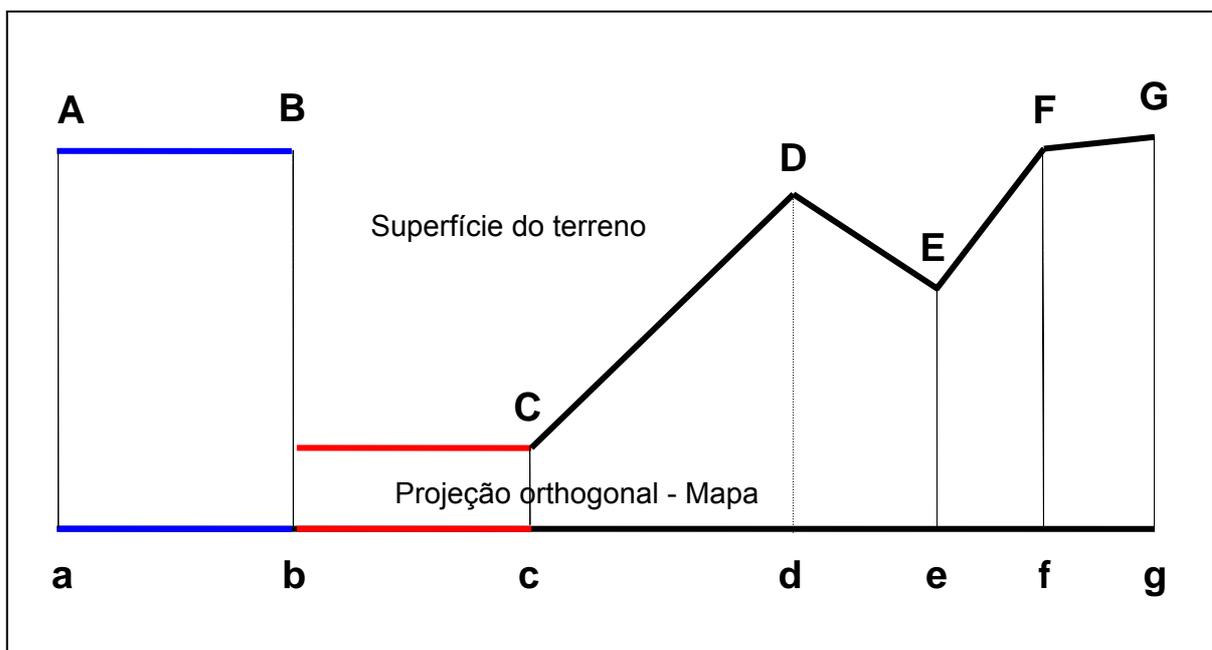


Figura 4. A representação de superfície do terreno em um mapa.

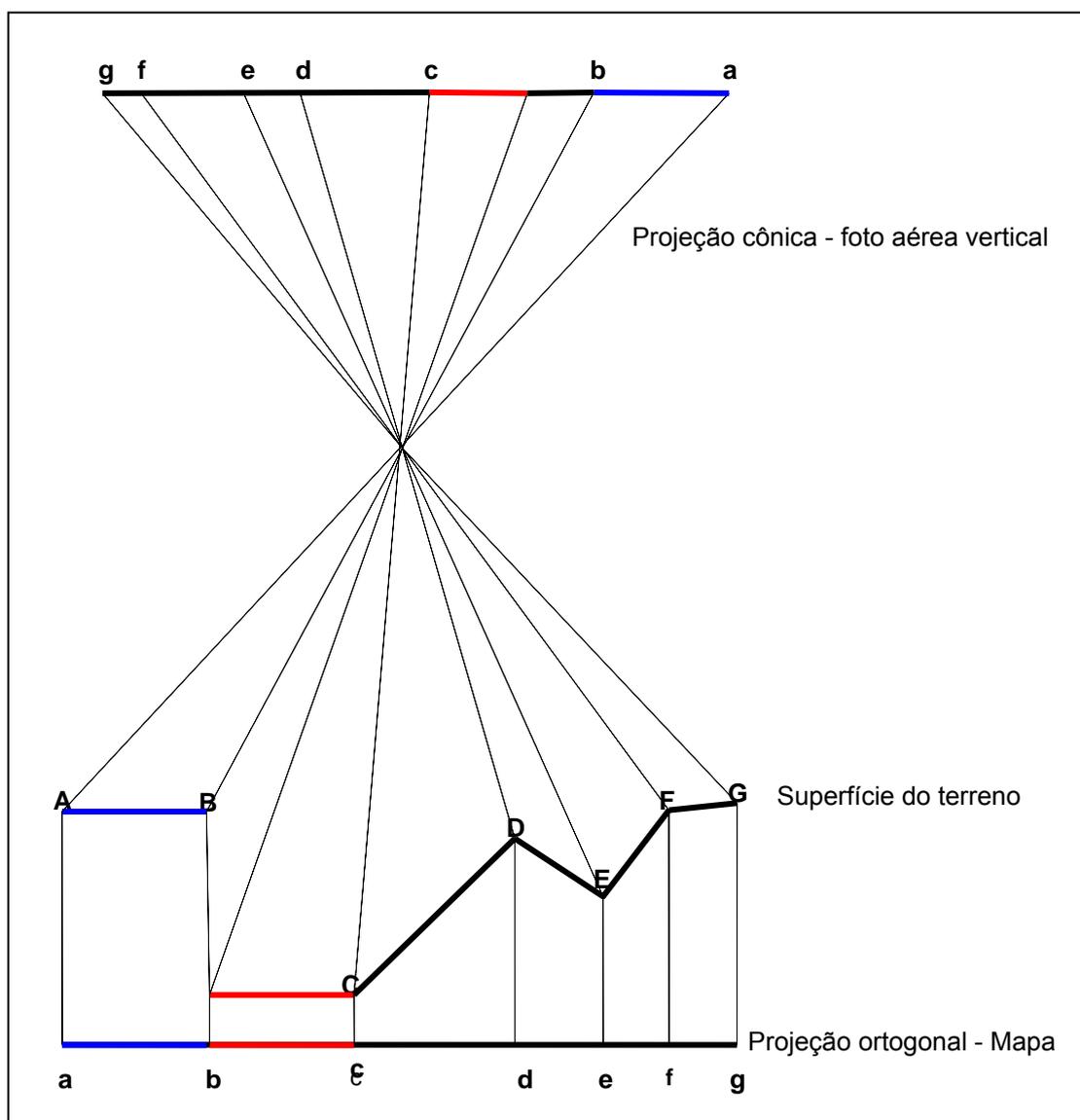


Figura 5. Diferenças entre um mapa e uma foto aérea vertical.

A fotogrametria para coletar a informação geometricamente correta nas fotos aéreas e obter o mapeamento da área fotografada utiliza a técnica do recobrimento entre as fotos de uma mesma faixa de voo. O recobrimento varia de 60% a 90% e na área comum um mesmo ponto identificado no terreno tem pontos homólogos nas fotos aéreas. A figura 6 mostra duas fotos aéreas com recobrimento de 60% com um ponto identificado nas duas imagens.

A superposição torna matematicamente possível determinar as coordenadas de pontos no terreno desde que sejam, também, identificados pontos com valores de coordenadas previamente conhecidos no sistema de referência. A fotogrametria utiliza três métodos para coletar informações geométricas das fotografias e produzir mapas:

- Método analógico - utiliza equipamento ótico-mecânico, denominado de restituidor fotogramétrico, que reconstitui analogicamente a geometria da foto aérea e possibilita a medição e um modelo tridimensional formado por um par de fotos estereoscópicas. Com esse método foi realizado todo o mapeamento brasileiro até o início dos anos noventa do século XX.
- Método analítico - é um procedimento apoiado no cálculo das equações de colinearidade dos pontos homólogos. Os pontos são medidos diretamente nas fotografias, por diversos processos, e determina-se as suas posições no sistema de coordenadas dos pontos considerados previamente fixos. Esses dados são transformados em mapas em programas gráficos tipo CAD.
- Método digital – é procedimento que trabalha com as fotografias digitais. As fotos originais são vetorizadas em scanners profissionais de alta resolução entre 10 a 20 micros. O modelo tridimensional é gerado no monitor de um computador através da polarização da tela sincronizada com o óculos do operador e uma programação controla a aquisição manual ou semi-automática das informações contidas na imagem,(MIKHAIL *et al.* 2001).

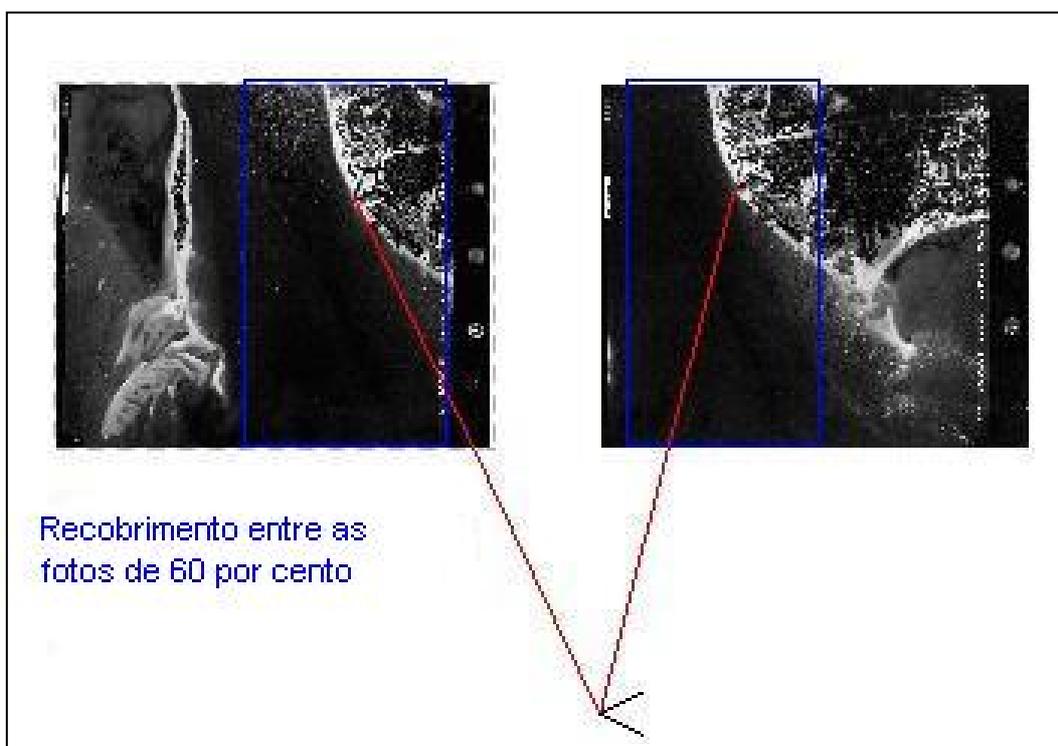


Figura 6. Duas fotos aéreas com o recobrimento de 60%, com o canto da muralha do forte Orange identificado nas duas imagens.

3.4. Tecnologia GPS

3.4.1. O Projeto NAVSTAR-GPS

O termo GPS é geralmente empregado para indicar um receptor de sinais, embora GPS (Global Positioning System) seja um sistema denominado NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite with Time and Ranging) formado por uma constelação de satélites. O sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte – DoD (Department of Defense). O primeiro lançamento de satélite foi em 22 de fevereiro de 1978, iniciando o projeto que objetivava basicamente a navegação em tempo real, o posicionamento tridimensional em qualquer local da superfície da terra e a transmissão do tempo com alta precisão. O GPS funciona continuamente e independente das condições meteorológicas. O Sistema somente foi declarado totalmente operacional em 1995. Opera com três segmentos distintos:

- a) O segmento espacial, com 24 satélites distribuídos em 6 planos orbitais previamente definidos, com uma altitude próxima de 20.200 Km da superfície da terra. A disposição dos satélites permite uma visibilidade mínima de quatro satélites em qualquer local da Terra e a qualquer hora. O período orbital é de 12 horas, possibilitando duas voltas a cada dia em torno da Terra. Os satélites são específicos para essa tecnologia e são divididos em blocos, considerando o desenvolvimento: Bloco I, os de teste e já estão fora de uso; o Bloco IIA com quase todos satélites operando; o Bloco IIR, que ainda estão sendo lançados, e o Bloco IIF, em desenvolvimento para 2006.
- b) O segmento de controle formado, atualmente, por várias estações responsáveis pelo monitoramento, posicionamento e correções das órbitas dos satélites. As predições são armazenadas na memória dos satélites que continuamente retransmitem as novas efemérides aos satélites que corrigem a sua posição.
- c) O segmento do usuário, com os equipamentos receptores do sinal GPS que são basicamente de dois tipos: os da comunidade mundial civil com o Serviço SPS(Standard Positioning Service) e os militares americanos com o Serviço PPS (Precise Positioning Service) .

O tempo é um fator muito importante na tecnologia GPS. Todos os satélites enviam seus sinais sincronizados na hora-padrão GPS que é passada para o receptor do usuário. Receptores GPS em qualquer parte do mundo mostrarão sempre a mesma hora, minuto, segundo até mili-segundo. A hora-padrão é altamente precisa, baseada no relógio atômica de cada satélite, com precisão de nano-segundo - mais preciso que a própria rotação da Terra. Essa precisão é importante porque o tempo entre a emissão e a recepção do sinal é utilizado para calcular a distância entre o satélite e o ponto onde está a antena do receptor. A potência de transmissão é de apenas 50 Watts.

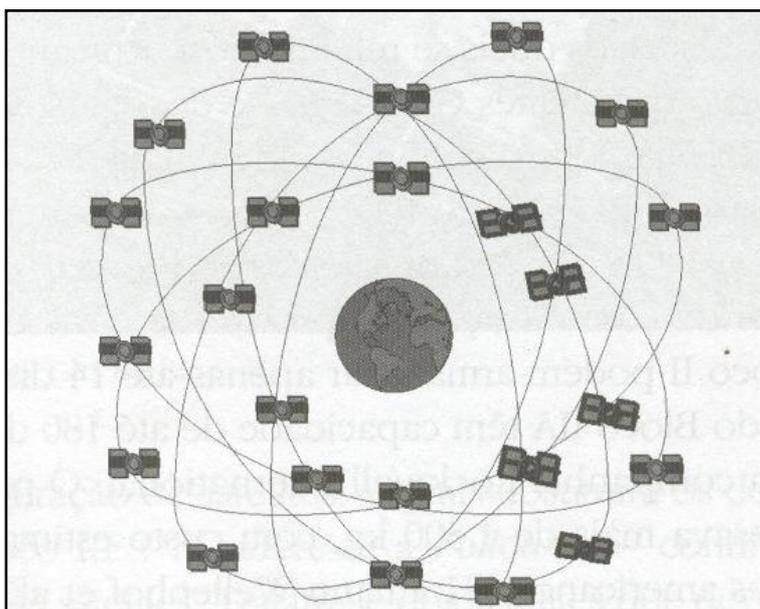


Figura 7. Esquemática dos satélites GPS em suas órbitas.

Os sinais do sistema são compostos por duas ondas portadoras geradas a partir de uma frequência básica de 10,23 MHz que é multiplicada por 154 e 120 obtendo-se, respectivamente, L1 e L2 (frequência 1575,42 Mhz; comprimento de onda 19cm) e L2 (frequência 1227,60 Mhz; comprimento de onda 24 cm).

Modulando as portadoras estão os códigos C/A (Coarse Acquisition) e P (Precise or Protected). Os receptores de GPS da comunidade civil mundial só têm acesso, sem criptografia, ao código C/A na portadora L1, com informações sobre a posição dos satélites na órbita. Com esses dados o SPS (Standard Positioning Service) permite um serviço de posicionamento global sem a cobrança de nenhuma taxa. O código P modulado na portadora L2 é reservado para o uso dos militares americanos e com ele é realizado o posicionamento tipo PPS (Precise Positioning Service).

3.4.2. Receptores GPS

Os receptores GPS podem ser separados em categorias, considerando o tipo de sinal que decodificam e processam (SEEBER, 1993):

- a) Receptores somente do código C/A. Esses são os mais simples utilizados para navegação e uso geral;
- b) Receptores com o código C/A mais a portadora L1. São os receptores mínimos para o uso na cartografia e levantamentos em geral;

- c) Receptores com o código C/A e as portadoras L1 e L2. São designados como geodésicos e adequados para todos os levantamentos e projetos, e
- d) Receptores com o código C/A e as a portadoras L1 e L2 e também o código P, restrito para atividades militares. São equipamentos especiais para missões militares ou grandes projetos conjuntos.

3.4.3. Medições na Tecnologia GPS

A geometria do método GPS consiste na medição das distâncias da antena do receptor a um mínimo de quatro satélites. A posição dos satélites, as suas coordenadas na órbita, são previamente conhecidas em relação a um sistema de referência global geocêntrico, denominado World Geodetic System 1984 (WGS-84), e nesse mesmo sistema determina-se a posição da antena do receptor do usuário. Geometricamente, três distâncias já seriam suficientes para se determinar as três coordenadas (X,Y,Z) da estação do usuário, entretanto é necessária mais uma medição de distância, devido à inclusão de uma outra incógnita para sincronizar os relógios dos satélites com relógio o do receptor (MONICO, 2000). Essas medições podem ser realizadas basicamente por dois processos:

- a) Medir a diferença de tempo entre transmissão do sinal e a sua chegada no receptor e transformar em distância multiplicando pela velocidade da luz no vácuo. Essa distância por conter o erro de sincronização entre os relógios é chamada de pseudodistância, e
- b) Medir a fase da portadora ou a diferença de fase da portadora.

O primeiro processo é utilizado principalmente na navegação e com os receptores mais simples que utilizam o código C/A para determinar o tempo.

A medição da fase ou diferença de fase da portadora é o método mais preciso utilizado nos receptores geodésicos. Determina-se com precisão a fração do ciclo que deve ser adicionada ao número inteiro de ciclos obtidos desde a saída do sinal no satélite até sua chegada no receptor. Esse tipo de medição acrescenta uma nova incógnita na determinação da posição de um ponto, pois o número inteiro de ciclos é desconhecido. Sua determinação é denominada “resolução da ambigüidade”, que pode ser resolvida por meio de combinação entre código e fase da portadora; por algoritmos de procura da ambigüidade e pela variação no tempo da configuração geométrica entre os satélites e os receptores (SEEBER e ROMÃO, 1998).

3.4.4. Métodos de Posicionamento GPS

Os métodos de posicionamento empregados podem ser divididos em função do número de receptores utilizados. O posicionamento conhecido como absoluto emprega um único receptor, e o posicionamento relativo utiliza no mínimo dois receptores, operando simultaneamente (KRUEGER, 1996; MONICO, 2000).

3.4.4.1. Posicionamento Absoluto

O posicionamento absoluto objetiva determinar as coordenadas de um ponto de maneira independente com um único receptor. Tradicionalmente essa determinação era realizada através da astronomia de posição (SANTOS, 1996; 2001). É necessária a visibilidade de no mínimo quatro satélites, e as medições podem ser pseudodistâncias com o código C/A ou P (no caso dos militares americanos), quando é chamado de navegação, ou com um receptor que utiliza a fase da portadora. Esse tipo de posicionamento independentemente do receptor não é utilizado em aplicações geodésicas, até o presente momento, embora vários trabalhos têm sido desenvolvidos com esse objetivo (MONICO, 2000).

3.4.4.2. Posicionamento Relativo

O uso de no mínimo dois receptores operando simultaneamente caracteriza esse posicionamento. Atualmente diversas estações base com equipamentos ligados rastreando vinte e quatro horas permitem que o usuário faça uma combinação entre um único receptor com dados simultâneos obtidos posteriormente desses pontos fixos.

O posicionamento relativo quando ocorre entre somente dois pontos, um fixo conhecido e outro fixo a determinar, esse levantamento é denominado de transporte de coordenadas através de uma linha base. Quando mais de dois receptores são envolvidos forma-se uma rede, que requer um cálculo que deve utilizar o método dos mínimos quadrados (GEMAEL, 1994; LEICK, 1994).

O posicionamento relativo permite uma significativa redução dos erros inerentes ao sistema GPS. Os erros da posição dos satélites nas órbitas, erros da falta de sincronismo entre os relógios e os da propagação do sinal na atmosfera são praticamente eliminados quando são processados simultaneamente os sinais recebidos dos mesmos satélites em dois ou mais pontos diferentes. O tipo de receptor envolvido deve no mínimo receber o código C/A e a portadora L1; e para distâncias superiores a 50 Km, é necessária também a portadora L2, para corrigir o efeito da ionosfera (SEEBER, 1993).

O cálculo é realizado depois de concluída a etapa da recepção, quando são pós-processados os dados dos dois receptores, sendo uma estação considerada fixa e com coordenadas conhecidas.

3.4.4.3. Posicionamento Relativo Cinemático

O posicionamento relativo é dito cinemático quando uma antena GPS permanece fixa e a outra sai percorrendo pontos de interesse. Embora a antena esteja se deslocando, determina-se uma série de pontos. Os dados são pós-processados e são determinadas as coordenadas dos pontos de interesse em relação ao o ponto fixo. As ambigüidades são resolvidas durante o caminhamento por meio de novos algoritmos, incluídos em técnicas, como, por exemplo as denominadas “*On The Fly*” (OTF).

O posicionamento relativo cinemático pode ser realizado em tempo real desde que se acrescente um “link” de rádio que transmite do receptor base (também chamado de estação referência) para o receptor em movimento as correções de posição ou as correções às pseudo-distâncias observadas. Esse método é conhecido com RTK (Real Time Kinematic) e sua utilização maior é no ambiente marinho, onde a transmissão das correções através da comunicação por rádio entre os receptores GPS tem menos obstáculos.

3.5. Sistemas de Coordenadas de Referência

A definição de um sistema de coordenadas é essencial para qualquer método de medição. Um sistema de referência tem sua definição teórica e sua realização em pontos fixos, em marcos na superfície terrestre.

3.5.1. Sistema de Coordenadas Geodésicas

O modelo geométrico escolhido pela comunidade internacional para representar a superfície terrestre é um elipsóide obtido a partir da rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor. O elipsóide é achatado nos polos, sendo a diferença entre o semi-eixo menor e semi-eixo maior de aproximadamente 21 km, dependendo das dimensões do elipsóide adotado. Para objetivos científicos e de interesse internacional, adota-se um elipsóide global, geocêntrico, convencionado por uma organização internacional, como o IUGG (International Union of Geodesy and Geophysical). Para objetivos práticos de interesse de cada país, como a cartografia sistemática, adota-se o elipsóide que melhor se adapte à uma determinada região, muitas vezes fazendo com que a superfície do elipsóide coincida com a superfície do geóide em um determinado ponto (normalmente a origem da rede de pontos) daquela região. Esse elipsóide é chamado de elipsóide local. Diversos

elipsóides são adotados, considerando-se sempre o que mais se aproxima da forma da Terra. O Brasil adota o Elipsóide Internacional Referência 1967, cuja superfície coincide com o geóide no ponto origem da Rede Geodésica Brasileira, chamado CHUÁ, (ver item 3.5.2.). Atualmente, o IBGE trabalha no sentido de passar para um elipsóide geocêntrico e Global, à semelhança do adotado pelo sistema GPS. A figura 7 mostra a forma de um elipsóide.

As coordenadas geodésicas são determinadas considerando a forma elipsoidal e são definidas como: latitude geodésica (ϕ), que é o ângulo contado sobre o meridiano que passa pelo ponto, compreendido entre a normal no ponto e o plano equatorial; e longitude geodésica (λ), que é o ângulo contado sobre o plano equatorial, compreendido entre o meridiano de Greenwich e meridiano que contém o ponto; a altitude elipsoidal (ou altura geométrica, h), que corresponde à distância entre o ponto no terreno e a superfície do elipsóide, medida sobre a sua normal. Na figura 7 são apresentadas as coordenadas geodésicas.

O sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais é um conjunto de três retas (X,Y e Z), denominados de eixos coordenados, mutuamente perpendiculares, de modo que: O eixo X é coincidente ao plano equatorial, positivo na direção da origem das longitudes (meridiano de Greenwich); o eixo Y é coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude 90° e o eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e positivo na direção norte. Quando a origem é o centro de massa da terra, o sistema é denominado de cartesiano geocêntrico. A figura 8 representa as coordenadas cartesianas geocêntricas com as coordenadas geodésicas.

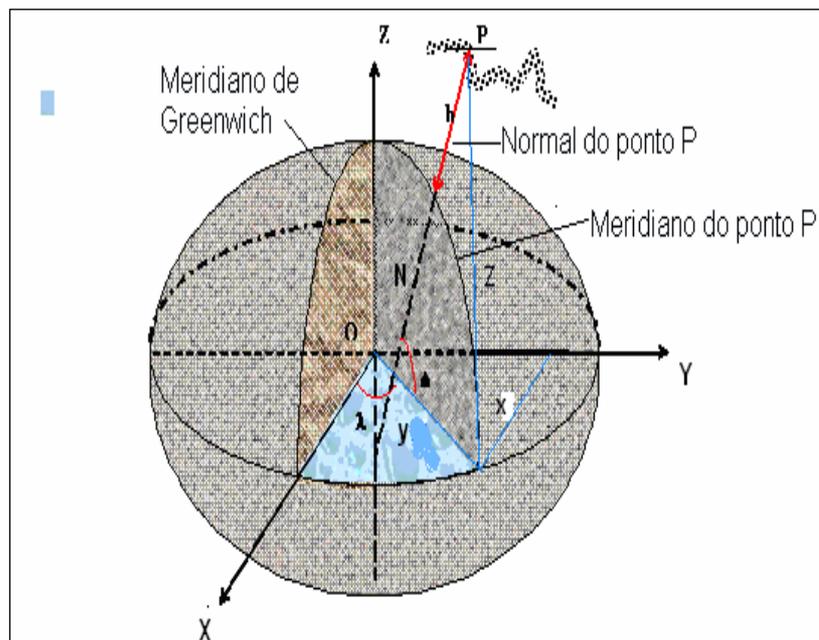


Figura 8. Sistema de coordenadas geodésicas Φ , λ e h e coordenadas cartesianas tridimensionais X, Y e Z.

3.5.2. O Sistema Geodésico Brasileiro- SGB

No território brasileiro as normas e bases da cartografia são definidas no Decreto-lei Lei nº. 243, de 1967 (Brasil, 1967) e em seu art. 12 com seus parágrafos explicita:

“Os levantamentos cartográficos sistemáticos apóiam-se obrigatoriamente em sistema plano-altimétrico único, de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno por meio de marcos, pilares e sinais, assim constituído:

1. *Rede geodésica fundamental interligada ao sistema continental;*
2. *Redes secundárias, apoiadas na fundamental, de precisão compatível com as escalas das cartas a serem elaboradas;*

§1º São admitidos sistemas de apoio isolados, em caráter provisório, somente em caso de inexistência ou impossibilidade imediata de conexão ao sistema plano-altimétrico previsto neste artigo.

§2º Compete, precipuamente, à Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE promover o estabelecimento da rede geodésica fundamental, do sistema plano-altimétrico único “

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em sua resolução 22 de junho de 1983 (IBGE, 1983) define os parâmetros do DATUM oficial a ser adotado no Brasil. A imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do Estado de Santa Catarina.

O Sistema Geodésico Brasileiro integra o Sul-Americano de 1969 (SAD-69), definido a partir dos parâmetros: Elipsóide Internacional de 1967 com o semi-eixo maior, $a = 6.378.160,000$ m, $b = 6.356.774,719$ m e o achatamento, $f = 1/298,25$; o semi-eixo menor do elipsóide é paralelo ao eixo de rotação da Terra; o plano meridiano origem é paralelo ao plano meridiano médio de Greenwich, definido pelo BIH (Bureau International de l'Heure).

A origem da Rede de Triangulação Brasileira (RTB) é o Vértice CHUÁ, com coordenadas geodésicas $19^{\circ} 45' 41,6527''$ de latitude sul e $48^{\circ} 06' 04,0639''$ de longitude oeste, e orientação de $271^{\circ} 30' 04,05''$ na direção sul-oeste-nordeste (SWNE) para vértice VT-UBERABA; a ondulação geoidal nesse ponto é nula, $N=0$.

3.5.3. O Sistema de Coordenadas do GPS

A União Internacional de Geodésia e Geofísica - IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) em conjunto com União Astronômica Internacional - IAU (International Astronomical Union) e o Serviço Internacional de Rotação da Terra - IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service), considerando a necessidade de definir um sistema terrestre mundial, global, com alta precisão, definiram o ITRS - International Terrestrial Reference System, como descrito a seguir.

O ITRS é fixo à Terra e tem a origem no seu centro de massa, considerando inclusive a atmosfera. A direção do eixo Z é positivo na direção do Pólo Terrestre Convencional (CTP - Conventional Terrestrial Pole). O eixo X, na direção do meridiano de referência internacional, realizado a partir de observações que acompanham o movimento de rotação da Terra, e atualmente encontra-se afastado de aproximadamente 100m a leste do meridiano de Greenwich. O eixo Y completa o sistema cartesiano tridimensional, formando um sistema dextrógiro.

A escala é obtida com medições de SLR (Satellite Laser Range) e VLBI (Very Long Baseline Interferometry) (MONICO, 2000). O ITRF é continuamente recalculado, utilizando-se o termo realização para esses recálculos, que consideram a variação da velocidade da Terra e a inclusão de novas estações. A última realização foi o ITRF2000; e os parâmetros de transformação estão disponíveis nos páginas das organizações científicas internacionais.

A tecnologia GPS adota o WGS84 (World Geodetic System 1984) como seu sistema de referência global. O WGS84 é também um sistema geocêntrico com a mesma definição do ITRF, com outra materialização. O seu elipsóide tem como parâmetros: o semi-eixo maior de 6.378.137,00m e o seu achatamento f é de $1/298,257223563$. O sistema de referência do GPS (WGS84) foi refinado em diversas ocasiões, sendo próximo ao ITRF ao nível centimétrico.

3.5.4. Ligação entre os Diferentes Sistemas

A tecnologia GPS determina originalmente coordenadas cartesianas geocêntricas tridimensionais no sistema WGS-84. Por serem as coordenadas cartesianas não muito práticas, principalmente do ponto de vista da representação, os programas de processamento dos dados GPS incluem as equações de transformações entre as coordenadas cartesianas (X,Y,Z) e as elipsoidais (ϕ,λ,h), apresentando sempre nos seus resultados os dois tipos de coordenadas.

Após a obtenção das coordenadas no sistema WGS-84, elas são transformadas para o sistema de referência local de cada país, aplicando-se os parâmetros de transformação definidos pelo seu datum geodésico.

No caso do Brasil, a transformação entre o sistema WGS-84 e o SAD-69 é realizada por meio dos valores das três translações. Esses parâmetros foram definidas pelo IBGE e divulgadas na Resolução da Presidência da República n° 23 de 21/02/89 e são para a transformação do WGS-84 para o SAD-69:

$$D_x = 66,87\text{m} \pm 0,43\text{m}$$

$$D_y = -4,37\text{m} \pm 0,44\text{m}$$

$$D_z = 38,52\text{m} \pm 0,40\text{m}$$

As coordenadas no sistema WGS-84 são transladadas em X, Y e Z para a sua transformação no sistema SAD-69 ou vice-versa, de acordo com o fluxograma da figura 9.

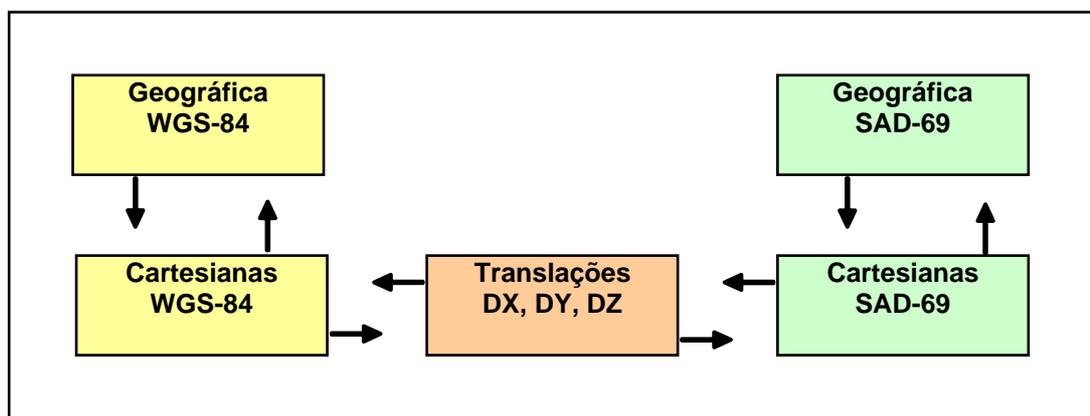


Figura 9. Fluxograma de transformação entre os sistemas WGS-84 e SAD-69

A transformação entre as coordenadas geodésicas elipsoidais e cartesianas é realizada com base na geometria elipsoidal (TEUNISSEN e KLEUSBERG,1998), sendo a conversão entre coordenadas geodésicas elipsoidais para cartesianas dada por:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h)\cos\varphi \cdot \cos\lambda \\ (N+h)\cos\varphi \cdot \text{sen}\lambda \\ (N(1-e^2)+h)\text{sen}\varphi \end{bmatrix}$$

Sendo: X,Y e Z Coordenadas cartesianas

ϕ Latitude geodésica

λ Longitude geodésica

h Altitude elipsoidal ou geométrica

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}}$$

distância na normal do ponto, compreendido entre sua intersecção na superfície do elipsóide e a sua intersecção no plano do equador elipsoidal (ver Fig.7)

a semi-eixo maior do elipsóide

b semi-eixo menor do elipsóide

f achatamento do elipsóide

$$e^2 = f(2 - f) \quad \text{quadrado da primeira excentricidade do elipsóide}$$

Para o WGS-84 $a = 6.378.137\text{m}$

$$f = 1/298,257223563$$

Para o SAD-69 $a = 6.378.160\text{m}$

$$b = 6.356.774,719\text{m}$$

$$f = 1/298,25$$

Calculadas as coordenadas cartesianas no sistema WGS-84, aplicam-se os parâmetros de transformação para a obtenção das coordenadas cartesianas no sistema geodésico local. No caso do Brasil, aplicam-se as translações:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{SAD-69}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} + \begin{bmatrix} 66,87 \\ -4,37 \\ 38,52 \end{bmatrix} \text{ m}$$

SAD-69 WGS-84

Obtidas as coordenadas cartesianas no sistema local desejado, realiza-se o problema inverso obtendo-se das coordenadas geodésicas (Φ , λ e h) no mesmo sistema local. As expressões a seguir requerem um processo iterativo, uma vez que a latitude Φ e altura geométrica h aparecem nos dois lados das equações:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$h = p / \cos(\Phi) - N$$

$$\Phi = \arctan \left\{ \left(\frac{Z}{p} \right) \left(1 - e^2 \frac{N}{N+h} \right)^{-1} \right\}$$

$$\lambda = \arctan (Y / X)$$

3.5.5. Sistema de Coordenadas Planas UTM

As coordenadas elipsoidais são projetadas em uma superfície cilíndrica com uma projeção conforme que preserva as direções e deforma as distâncias. Essa projeção é denominada de Projeção Universal Transversa de Mercator- UTM. Para minimizar as distorções, o cilindro é secante e a superfície terrestre é projetada no plano, em fusos de 6°.

Os fusos são numerados a partir do anti-meridiano de Greenwich. Por exemplo, a área estuda encontra-se entre as coordenadas 30° e 36° W, com o meridiano central de 33° W e fuso de número 25. As distorções são determinadas e no centro do fuso a redução de escala (K_0) é de 0,9996, passando por um valor nulo nas linhas de secância e crescendo até atingir 1,001 nos limites do fuso.

As coordenadas são expressas em metros, o eixo das longitudes torna-se o eixo E (Easting) na direção leste-oeste, e das latitudes torna-se o eixo N (Northing) na direção norte-sul. A origem das coordenadas E é o meridiano central de cada fuso no valor de 500.000 m, variando aproximadamente de um mínimo de 160.000m até 840.000m. As coordenadas N têm sua origem no equador e para evitar valores negativos para o hemisfério sul é atribuído na origem o valor de 10.000.000m.

3.5.6. Altitude no Sistema GPS e o Geóide no Sistema Geodésico Brasileiro.

As coordenadas obtidas com a tecnologia GPS são referenciadas ao elipsóide WGS-84 que podem ser transformadas para SGB no SAD-69. A coordenada vertical, denominada de altura elipsoidal (h) é inadequada para prática dos trabalhos de engenharia. Essa coordenada é de natureza puramente geométrica, enquanto que as aplicações são sempre relacionadas com a vertical local, perpendicular à superfície de nível do campo da gravidade terrestre.

A altitude que considera o campo da gravidade é a altitude ortométrica (H), que é referenciada à superfície equipotencial do campo da gravidade, que em parte coincide com o nível médio dos mares, denominada de geóide (TORGE, 2001).

Da mesma forma como o referencial horizontal do SGB é materializado por um arcabouço de pontos (rede de triangulação), com coordenadas horizontais (ϕ, λ) determinadas em relação à superfície do elipsóide, e tendo origem em CHUÁ, o referencial vertical é materializado por um conjunto de pontos, chamados de Referências de Nível (RN), determinados em relação ao geóide, que compõem a Rede Vertical (Rede de Nivelamento). Essa Rede tem como origem o marégrafo de Imbituba, em Santa Catarina.

Para determinar as altitudes ortométricas (H), a partir da tecnologia GPS, é necessário conhecer inicialmente a diferença de altura entre a superfície geoidal e superfície elipsoidal, denominada de ondulação geoidal (N):

$$H = h - N,$$

onde: h é a altura elipsoidal (puramente geométrica)

H é a altura ortométrica (natureza física) e

N a ondulação geoidal.

Conhecendo-se, portanto, as ondulações geoidais (N), obtidas do mapa geoidal do Brasil (ver figura 10) ou de um mapa geoidal local (GALDINO,1996; ROMÃO et al, 1999), e determinando-se as alturas geométricas (h) por observação GPS, pode-se obter, com a equação acima, as altitudes ortométricas (H) dos pontos, para aplicação na engenharia, cartografia, e diversas aplicações onde o conhecimento da vertical é de interesse.

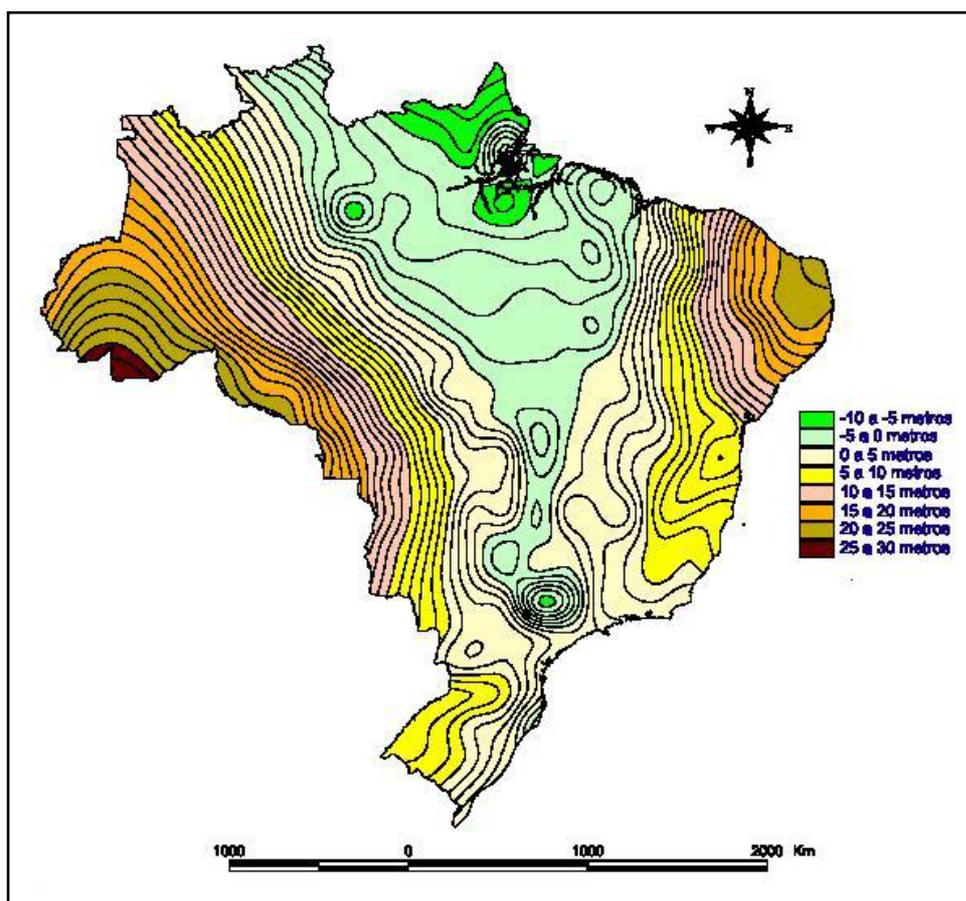


Figura 10. Mapa Geoidal do Brasil (IBGE, 2004).

4. METODOLOGIA PROPOSTA

Medir a linha de costa é determinar as coordenadas de pontos que a represente. Uma linha é uma representação adequada para determinadas feições da realidade física, tais como caminhos, vias, divisas de propriedades, etc., todos locais fixos e perfeitamente identificáveis. No entanto, a linha de costa é uma feições extremamente dinâmicas (BIRD, 1996) e para sua medição faz-se necessário identificar no ambiente praias, as feições que melhor a representem.

4.1. A Definição do Local de Medição da Linha de Costa

A linha de costa, no presente trabalho, é definida como a feição no plano horizontal limite entre a área seca do continente, ou de uma ilha, com a parte onde há efetiva ação das águas. Considera-se que o local está fora do alcance das águas incluindo as maiores marés de sizígia.

A determinação, com rigor morfológico, da linha de costa precisa considerar o plano vertical e encontrar uma linha equipotencial do campo da gravidade, uma curva de nível, resultante da interseção entre a superfície adjacente às águas com a altitude da maior preamar. A determinação da posição dessa linha é possível em lagos e áreas alagadas, entretanto no litoral é de difícil obtenção. A parte não atingida pelas águas precisa ser determinada tridimensionalmente para permitir a construção de uma superfície, além de que as águas teriam que ser consideradas estáveis, variando somente com as marés sem a ação das ondas. Em SALLENGER *at al.* (2003) o uso do Laser aerotransportado, uma tecnologia recente de medição resolve com precisão a determinação da superfície do terreno, da morfologia, entretanto acrescenta uma outra questão ao obter uma “linha de costa” diferente das determinações anteriores.

A necessidade da identificação de delimitadores físicos para a linha de costa é uma questão abordada em PAJAK e LEATHERMANN(2002) e GOLMAN *at al.* (1998). O local da medição da linha de costa deve considerar critérios bem definidos que permitam a sua remedição independentemente do operador. Sem essa importante característica o processo de monitoramento fica comprometido e grupos diferentes podem chegar a conclusões conflitantes na mesma área.

A visibilidade da feição delimitadora da linha de costa é um fator importante e deve ser a maior possível para permitir que processos indiretos de medição a identifiquem. Os tradicionais métodos fotogramétricos e os contemporâneos com imagens satelitais de alta resolução (MITSHITA, *at al.* 2002; KRUEGER, *at al.* 2002) devem reconhecer o mesmo local de medição, com isso os resultados podem ser compatibilizados e comparados, sem deixar de considerar as diferentes precisões (KRUEGER, 1996; DOUGLAS e CROWELL, 2000). Além das questões relativas à identificação e à visibilidade, o local precisa ser uma consistente representação da realidade morfológica.

Os indicadores da posição da linha de costa são basicamente de dois tipos: Feições físicas que demarcam, criando obstáculo à passagem da água, tais como: penhascos rochosos, falésias, dunas, arenito de praia, muros de proteção, edificações na zona do estirâncio e a berma na areia; ou marcas associadas com o nível da água, do tipo: presença de vegetação, resíduos deixados pela maré e a marca média da linha da água da maré mais alta. A figura 11 representa os indicadores físicos da posição da linha de costa.

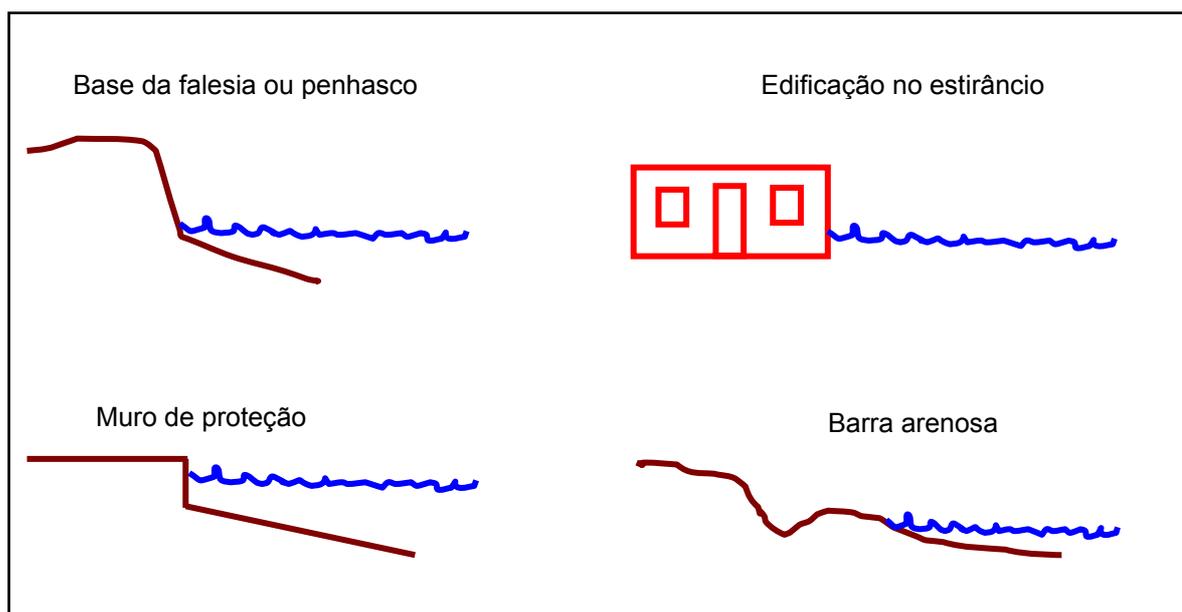


Figura 11. Indicadores físicos que demarcam a linha de costa.

4.2. O Método de Posicionamento com GPS

O objetivo de definir um referencial científico de medição requer, no mínimo, duas características básicas:

- Um referencial independente das feições do local de medição para permitir identificar deslocamentos relativos e
- Uma precisão decimétrica para identificar pequenas alterações.

O método que atende os pré-requisitos citados é o emprego da tecnologia de levantamento com receptores GPS, com equipamentos geodésicos no modo relativo cinemático, descrito no item 3.4.4.3. Pesquisas com medição da linha de costa com GPS já foram realizadas por MORTON *at al.*, (1993) e KRUEGER, (1996).

Na presente pesquisa os equipamentos sempre foram utilizados no modo relativo, com um permanecendo fixo em um ponto no local de trabalho enquanto um outro era conduzido no modo cinemático sobre a feição que identifica a linha de costa.

Os dados coletados pelos receptores, durante os deslocamentos e os obtidos na estação base, foram pós-processados no software GPSurvey 2.35 Dual Frequency Kinematic Processor, desenvolvido pela Trimble. As coordenadas são referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), item 3.5.2., através de um ponto fixo, da rede nacional, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco.

4.3. Computação Gráfica

O resultado final de cada levantamento é uma série de coordenadas bidimensionais dos pontos que representam a posição da linha de costa. Essas coordenadas são determinadas inicialmente como geográficas, latitudes (Φ) e longitudes (λ), e transformadas no próprio programa de processamento para coordenadas planas UTM (N e E).

As coordenadas formam um arquivo, um banco de dados bidimensional, com a informação da posição da linha de costa em uma determinada data, que é associada a uma amplitude máxima da maré. Esses dados podem ser divulgados em forma de uma tabela ou como um arquivo texto. Entretanto, a maneira mais adequada de representá-los, na forma que explicita a morfologia e facilita análise de suas variações é a sua representação gráfica cartesiana.

Os programas tipo CAD (Computer Aided Design) possuem ferramentas baseadas na geometria plana que permitem calcular, entre outras funções: As distâncias entre pontos e entre qualquer outra entidade gráfica, a área de polígonos fechados e a posição do seu centro geométrico, o centróide. Essas informações são utilizadas para quantificar as variações entre as medições.

O conhecimento dos deslocamentos da linha de costa é uma das metas mais desejadas por quem pesquisa o ambiente costeiro. A metodologia determina um parâmetro que representa um valor médio de deslocamento e seu desvio padrão a partir de um banco de dados com as posições das linhas de costa em dois períodos. A fig. 12 apresenta a metodologia.

O método descrito utiliza as ferramentas simples de um programa tipo CAD, na seguinte seqüência de procedimentos:

- Os pontos que representam a posição de cada linha de costa são interligados reconstituindo-se a forma de uma linha;
- Entre as linhas de costa, são traçadas transseções equiespaçadas. O espaçamento sendo função do grau de variabilidade da linha de costa ;
- As distâncias entre as linhas são medidas, na seção, e calcula-se o seu valor médio com o desvio padrão, que representa um deslocamento homogêneo.

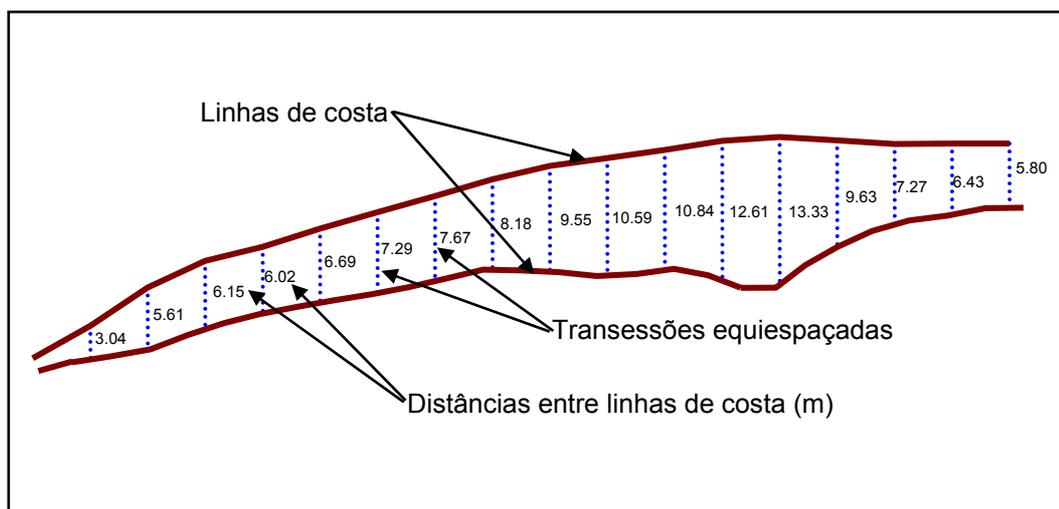


Figura 12. Metodologia para determinação do deslocamento médio entre linhas de costa.

5. ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo situa-se no litoral norte do Estado de Pernambuco entre as latitudes sul de 7° 48' 00" e 7° 50' 30" e as longitudes oeste de 34° 50' 10" e 34° 51' 00" (em coordenadas planas entre 9.140.000 e 9.130.000m coordenada N e 295.000 a 300.000m coordenada E). Compreende uma parte continental, iniciando após o pontal de Maria Farinha no município de Paulista, segue nas praias de Mangue Seco e do Gavoá, pertencentes ao município de Igarassu, até encontrar o canal de Santa Cruz que separa o continente da ilha de Itamaracá. Na ilha de Itamaracá, o local monitorado encontra-se na sua extremidade sul ao norte da ilha da Coroa do Avião. Na imagem LandSat-7 abaixo da área de estudo (Fig. 13), é possível visualizar um trecho do Canal de Santa Cruz, o banco de areia do Ramalho, a ilha da Coroa do avião e a presença de recifes que separa as águas internas da plataforma continental.

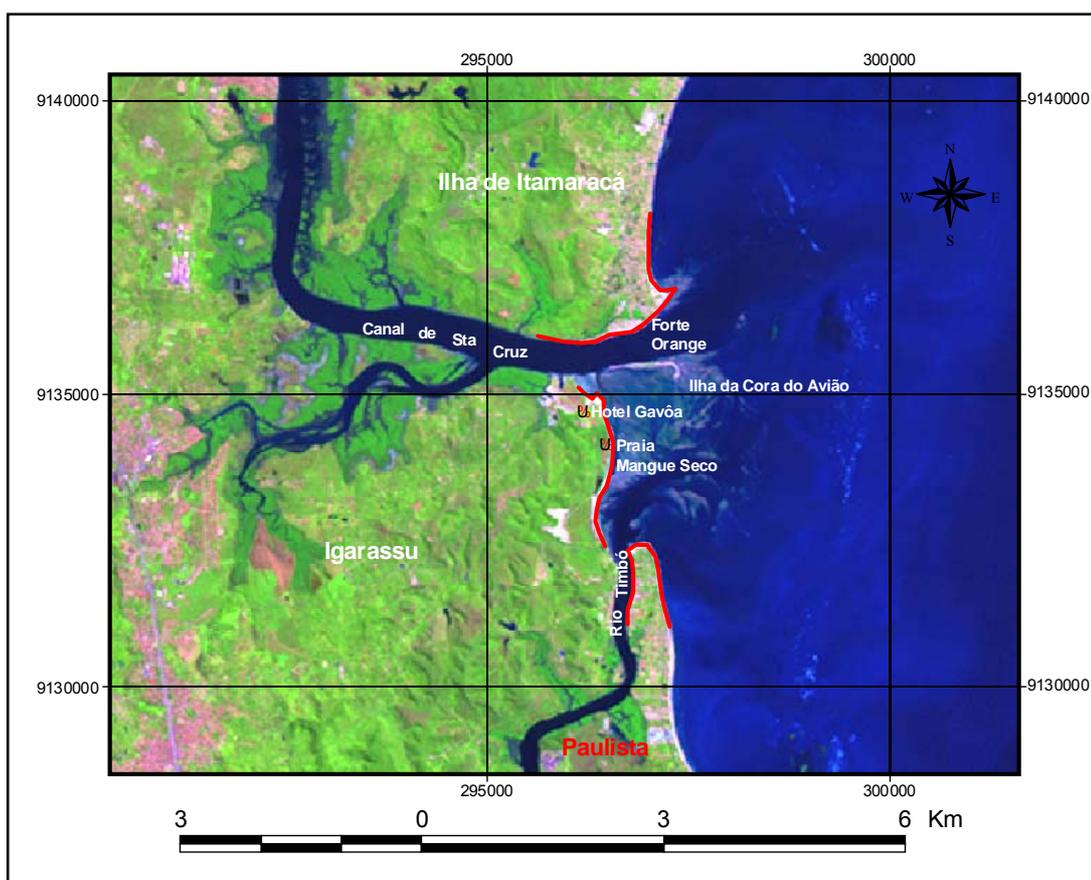


Figura 13. Imagem LandSat-7 ETM, combinação das bandas 5,4,3 de 10/09/ 2001, com a área entre a foz do rio Timbó e o canal de Santa Cruz.

5.1. Setor Sul da Ilha de Itamaracá

No setor sul da ilha de Itamaracá, logo após a invasão da Ilha pelos holandeses, em 1631, foi construído um forte, denominado de Forte Orange em homenagem à Casa de Orange. No final do século XVII, já ocupado pelos portugueses, o Forte Orange passou a ser chamado de Fortaleza de Santa Cruz. Construído inicialmente em taipa de pilão, em princípio do século XVIII, o forte foi revestido em pedra e cal por engenheiros portugueses, conservando, porém, o traçado holandês original, com seus quatro baluartes. Nessa época, ganhou também o portão de entrada com brasão português. O conjunto encontra-se inscrito como Monumento Nacional no livro das Belas Artes v.1, sob o nº 86, em 24 de maio de 1938 e no Histórico v.1, sob o nº 41, na mesma data DANTAS SILVA (2002).

Na área adjacente ao Forte Orange, está instalado o Centro de Pesquisa, Conservação e Manejo de Mamíferos Aquáticos do IBAMA-MMA (Fig. 14).

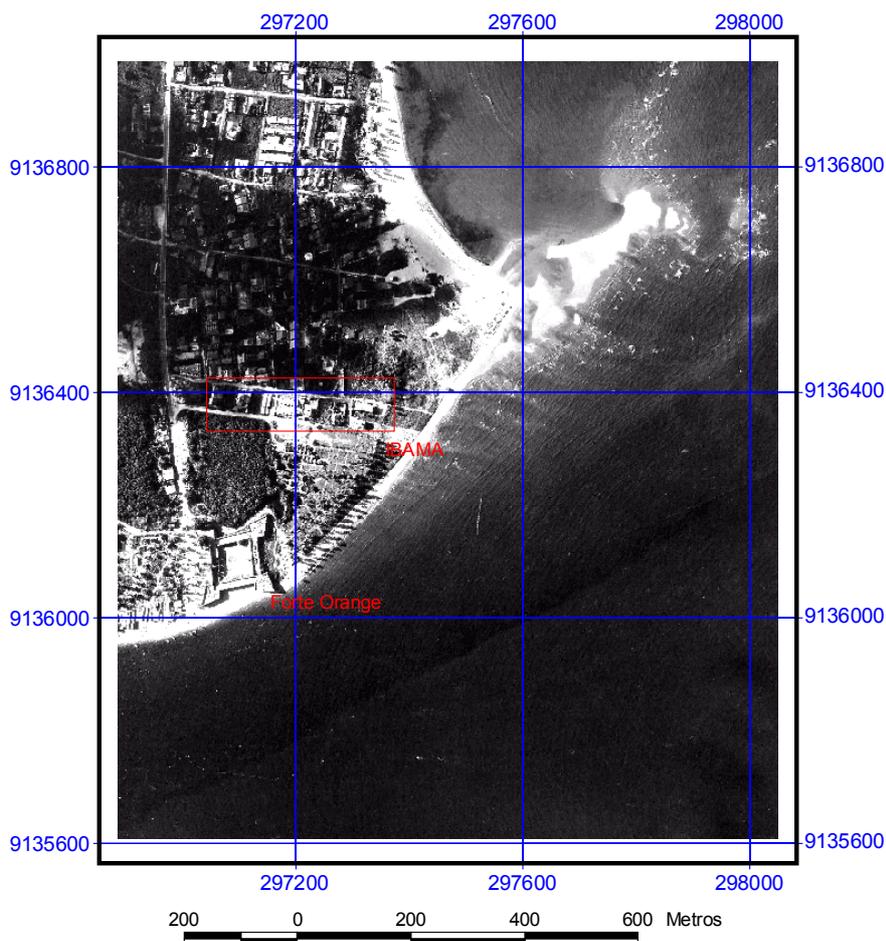


Figura 14. Fotografia aérea vertical escala original 1: 6.000, de 26/08/98, da Agência CONDEPE/FIDEM

5.2. Clima

O clima na região, segundo o sistema Köppen de classificação climática, é do tipo As', caracterizado por altas temperaturas e umidade constante. A menor temperatura é em média superior a 18° C, com média anual de 26 e máxima de 34° C (SUDENE, 1978).

ANDRADE (1964) prefere considerar o clima local como pseudotropical já que as chuvas estão concentradas no período oposto aos normalmente encontrados nos climas tropicais típicos, em que a estação chuvosa ocorre de setembro a janeiro. As chuvas anuais de 1,5m excedem a evaporação de 1,2m (RATISBONA, 1976 apud. MEDEIROS e KJERFVE (1993). Os ventos na região têm como direção predominante a sudeste, oscilando para leste somente nos meses entre o fim e o início do ano (SUDENE, 1963).

5.3. Geologia

A geologia local é descrita a partir do embasamento cristalino e suas seqüências sedimentares, as formações: Beberibe, Gramame, Maria Farinha e Barreiras. No Quaternário, os Terraços Marinheiros Pleistocênicos e Holocênicos (Fig. 14).

O embasamento cristalino é o suporte básico para as formações sedimentares, sendo constituído, segundo MANSO *at al.* (1992) por rochas graníticas e metassedimentares. Na ilha de Itamaracá, em um poço realizado pela PETROBRÁS, em 1961, o embasamento foi encontrado a 401m de profundidade, sendo composto por sienito rosa intenso com aproximadamente 95% de feldspato róseo e 5% de quartzo livre, com um mergulho suave para o mar (LIRA, 1975).

A formação Beberibe é um pacote sedimentar sobre o embasamento, com exposições no vale do rio Capibaribe, em Dois Irmãos e Apipucos. Na área de estudo é encontrada no vale do rio Botafogo e no Canal de Santa Cruz (LIRA, 1975; MANSO *at al.* 1992), sendo constituída por arenitos que variam de conglomeráticos a argilas. A formação Beberibe tem como seqüência a formação Gramame.

A formação Gramame foi denominada por OLIVEIRA (1940 apud LIRA, 1975) devido suas ocorrências no vale do rio Gramame. Ela é constituída por uma seqüência de calcários com muitos fósseis indicando que o ambiente de sedimentação é marinho e calmo. Na ilha de Itamaracá e em Itapessoca sua ocorrência é muito importante para a região do ponto de vista econômico. O contacto com a formação seguinte, a Maria Farinha, é realizado de maneira gradativa, sendo caracterizado pela presença de um nível de calcário pseudo-litográfico (MANSO *at al.* 1992).

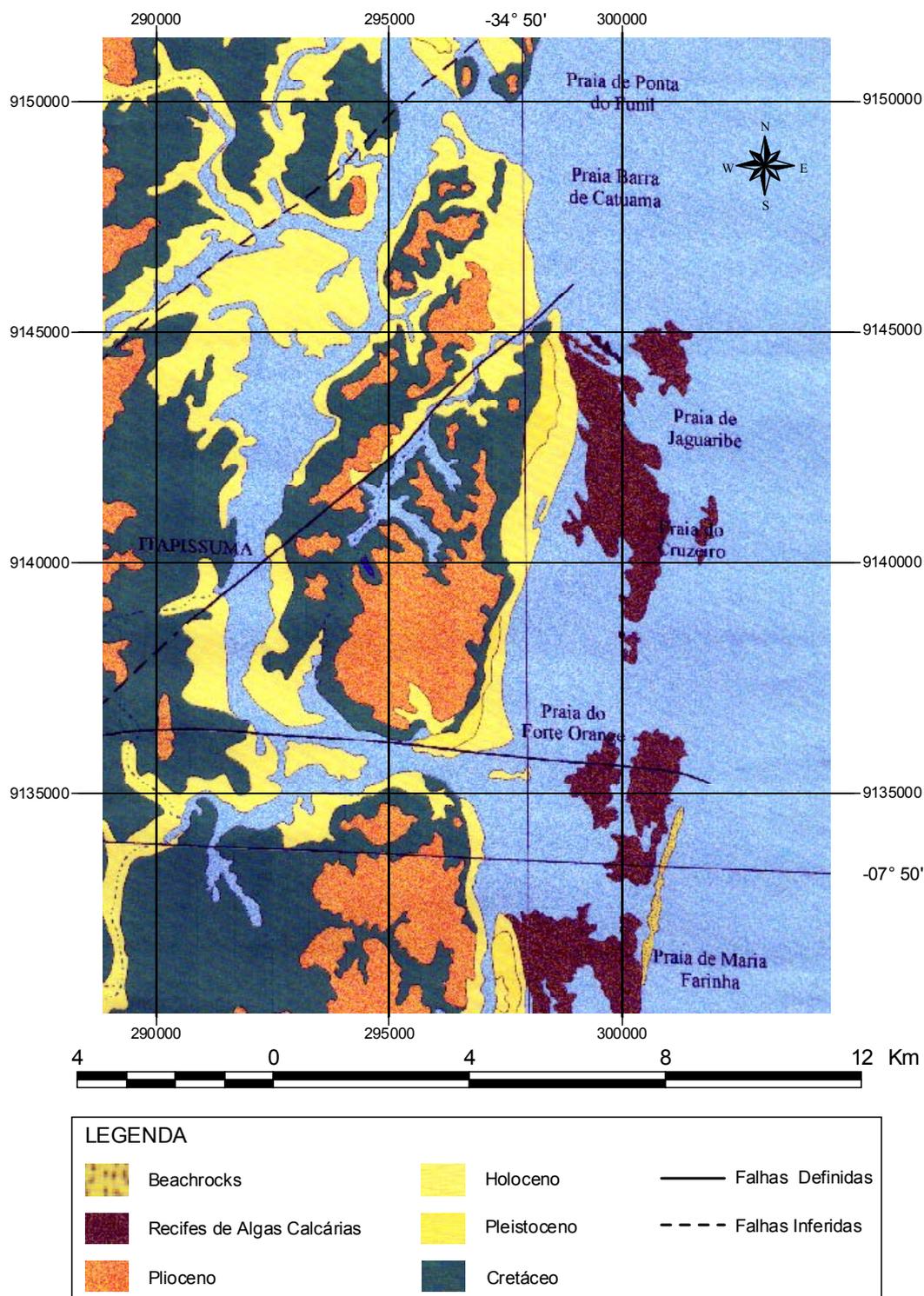


Figura 15. Mapa geológico do Quaternário costeiro do norte do Estado de Pernambuco.
Fonte : SILVA (2004)

Maria Farinha é uma formação denominada por MAURY(1930 apud LIRA,1975), sendo constituída de calcários detríticos cinzentos e cremes intercalados com argila cinzenta, que se torna mais arenosa à medida que se aproxima de seu topo. O conteúdo fóssil separa a Formação Maria Farinha da Gramame, enquanto a Gramame é caracterizada por foraminíferos planctônicos, na Maria Farinha predominam os bentônicos do Paleoceno, com a indicação de um ambiente de sedimentação marinho pouco profundo e junto a costa. Os sedimentos da formação Maria Farinha estão desde Olinda até o rio Goiana e na ilha de Itamaracá na área estudada.

A formação Barreiras é composta de sedimentos continentais não consolidados sobre as formações mais antigas que constituem falésias nas costas e bancos nas margens dos rios costeiros. A formação ocorre desde o Estado de Espírito Santo até o Pará, sendo caracterizada por sedimentos de cores avermelhadas, amarelas e brancas, variando de argila a seixos. Essa formação é composta de sedimentos terciário-quadernáticos. Na ilha de Itamaracá é formada por areias quartzo-feldspáticas claras, de granulação fina e média intercaladas com argila cinza-esverdeada (SILVA, 2004). Os depósitos do Quaternário foram estudados por DOMINGUEZ et al. (1990) e MANSO et al. (1992). Mapa geológico do quaternário costeiro do norte do Estado de Pernambuco (Fig. 15) indica a presença de Terraços Marinhos Pleistocênicos e Holocênicos, bancos de arenitos e recifes de corais, da área em estudo.

5.4. Ambiente Marinho

KEMPF (1970) pesquisou a natureza do fundo da plataforma continental, no entorno da área estudada, entre a praia de Pau Amarelo e a praia de Pontas de Pedra, o local foi denominado de região de Itamaracá. O ambiente conhecido pelos moradores de “mar de dentro”, abrigado por uma linha de recifes orientada paralelamente com o sentido geral da costa. A pesquisa constatou que toda essa área é rasa, sempre inferior a 5m, com muitos bancos de areia que emergem á maré baixa e que somente nas saídas dos rios Timbó e Goiana e no canal de Santa Cruz é que são encontradas profundidades maiores que permitem uma navegação segura. Quanto aos componentes do fundo na parte interna, encontrou recifes vivos e mortos e areias. No ambiente logo após os recifes, identificou que as profundidades aumentam rapidamente atingindo logo a isóbata de 10m. O primeiro estudo sobre os recifes é de DARWIN (1841), que os descreve e deixa claro que não se trata somente de corais, mas também de areias consolidadas. MABESOONE (1964) pesquisou a natureza dos recifes e concluiu que são formados pela combinação de areias, variando de 20 a 80%, e de quartzo com fragmentos de carbonato. A cimentação dos recifes foi identificada com dois estágios. No primeiro o cimento calcário forma somente uma fina capa envolta dos grãos e no segundo estágio de cimentação, que só ocorre locais mais fundos, os vazios são totalmente preenchidos pelo cimento.

A hidrodinâmica do sistema estuarino de Itamaracá foi estudada por MEDEIROS (1991), MEDEIROS e KJERFVE (1993). Segundo esses estudos, o comportamento do sistema estuarino de

Itamaracá é grandemente influenciado pela sazonalidade das chuvas e assim dos aportes fluviais, e as linhas de recifes costeiros combinadas com a predominância de ventos E e E-SE isolam fisicamente as águas entre estes e a ilha de Itamaracá (mar de dentro). O Canal de Santa Cruz, apresenta-se em geral pouco estratificado, sendo a turbulência de fundo devido às correntes de marés, o principal componente de mistura vertical (MEDEIROS e KJERFVE 1993; ARAUJO et al. 1998a,b). Embora a precipitação influencie pouco a estratificação, o aquecimento diurno da camada superficial, pode induzir uma estratificação vertical durante o período de estiagem e estratificação é esperada durante períodos de maior descarga fluvial (MEDEIROS et al., 2000). Comparativamente a sistemas tropicais clássicos, com uma única comunicação com o mar, a advecção diferencial das densidades horizontais é atenuada e os gradientes horizontais de densidade ao longo do canal são pequenos (ARAUJO et al. 1998a,b).

A circulação residual ao longo do Canal de Santa Cruz resulta principalmente da interação entre a descarga fluvial, marés e morfologia do canal. Em geral, a circulação residual ($0,01$ a $0,19 \text{ m.s}^{-1}$) flui da ponte de Itapissuma para norte, em direção à Barra de Catuama e para o sul, em direção ao Forte Orange (MEDEIROS 1991). Durante períodos de grande descarga fluvial e marés de sizígia, todo o sistema apresenta uma circulação residual dirigida para norte e as correntes residuais são mais intensas. Durante períodos de baixa descarga fluvial, as águas costeiras adentram o sistema pela barra de Catuama, com um fluxo próximo a nulo pela barra Orange. (MEDEIROS et al, 2000). As marés ao longo do Canal de Santa Cruz são semidiurnas, com alturas médias variando de 1.0 a 1.8 m durante as sizíguas, e variando de 0,5 a 1,1 m durante as quadraturas (MEDEIROS 1991).

Os sedimentos do fundo do canal de Santa Cruz e da região adjacente, a partir da foz do rio Timbó até o limite dos recifes foram alvo de diversos estudos. LIRA (1975) amostrou 113 pontos, e verificou que o recobrimento do fundo do canal é formado predominantemente por areia fluvial quartosa e de areias biodetríticas, a primeira com grãos de tamanho médio a fino, subarredondados e brilhantes. AMARAL *et al.* (1990) investigando o comportamento da fração lama no ambiente em função da dinâmica da área, verificou que concentrações de lama superiores a 5% só ocorriam na desembocadura ao sul da foz do rio Timbó e associadas à descontinuidade das linhas de recifes. As aberturas estão posicionadas no alinhamento do fluxo do canal de Santa Cruz e na posição que estaria o fluxo da foz do rio Timbó, antes do crescimento do esporão de Maria Farinha. BARROS (2003) concluiu que a cobertura sedimentar da plataforma adjacente à área pesquisada estava composta predominantemente por areias médias e finas, com uma tendência de redução do tamanho médio dos grãos em direção a plataforma média e que a influência deposicional é predominante costeira. SILVA (2004) realizou amostragem da cobertura de fundo em 22 sessões ao longo do canal de Santa Cruz observando uma maior concentração de depósitos de lama em regiões em que o canal apresentava maior largura e uma predominância de areia moderadamente selecionada na região da desembocadura sul (barra Orange) próximo a nossa área de estudo.

6. MONITORAMENTO FOZ DO TIMBÓ- FORTE ORANGE (1969- 2004)

6.1. Introdução

No litoral norte do Estado de Pernambuco, o trecho de costa entre a foz do rio Timbo e o Forte Orange, representa uma área com grande importância histórica e com alto potencial de turismo, que tem sua morfologia condicionada pelas descargas via Canal de Santa Cruz e pela dinâmica do oceano adjacente. O ambiente é uma importante fonte de alimentação para a população local e vem sendo pesquisado há mais de 30 anos (ESKINAZI-LEÇA, 1974; PASSAVANTE, 1979; BROCE, 1994; MONTES, 1996).

O impacto causado pela ocupação deste ambiente pode ser constatado, analisando-se as fotos de 1969 (Fig. 16) e de 1888 (Fig. 17). Em dezenove anos, o ambiente próximo à costa foi grandemente modificado. Na ilha de Itamaracá a área, ao norte do forte Orange, antes pouco urbanizado, foi totalmente ocupado, com aberturas de várias ruas em direção ao mar e aterro de várias áreas.

No outro lado do canal de Santa Cruz, na parte continental as alterações são tão profundas que se não estivessem documentadas seriam inacreditáveis. Ao sul, logo na saída do canal do rio Timbó, uma nova praia é criada com um aterro de aproximadamente 1000m de extensão por 100 de largura entre a antiga costa e uma linha de recifes. Seguindo para o norte, identifica-se um outro aterro no local hoje conhecido como praia de Mangue Seco e mais ao norte, nas proximidades do canal de Santa Cruz um aterro ainda maior é visível sobre uma área de mangue. O manguezal foi aterrado e canais foram abertos próximo ao local onde hoje está instalado o hotel Gavoá.

As evidências de que a linha de costa da área apresentava alterações foram corroboradas com várias pesquisas em alguns setores do ambiente. AMARAL *et al.* (1990) estudaram as variações na parte continental e identificaram a erosão ao norte da foz do rio Timbó. MARTINS (1997) em um perfil de praia próximo ao forte Orange concluiu que o local apresentava alterações. MORAIS (2000) e MORAIS LIMA FILHO (2003) combinando imagens de satélites de 1998 com cartas planimétricas da SUDENE, identificaram que próxima ao Forte Orange à linha de costa estava modificada com o acréscimo de um esporão.

CAMARGO e ARAÚJO (2003) estudaram a vulnerabilidade à erosão no setor entre a praia do forte Orange e do Forno de Cal e concluíram que na primeira parte, no local mais próximo ao Orange o grau de vulnerabilidade é baixo e que as dunas frontais não são ocupadas.

O objetivo específico de investigar e quantificar as variações na linha de costa nos últimos 35 anos (1969 a 2004) entre a foz do rio Timbó e o forte Orange. O estudo foi baseado na documentação cartográfica existente: mapas impressos, ortofotocartas impressas, mapas digitais e no levantamento recente, em 04 de agosto de 2004, com a tecnologia GPS.

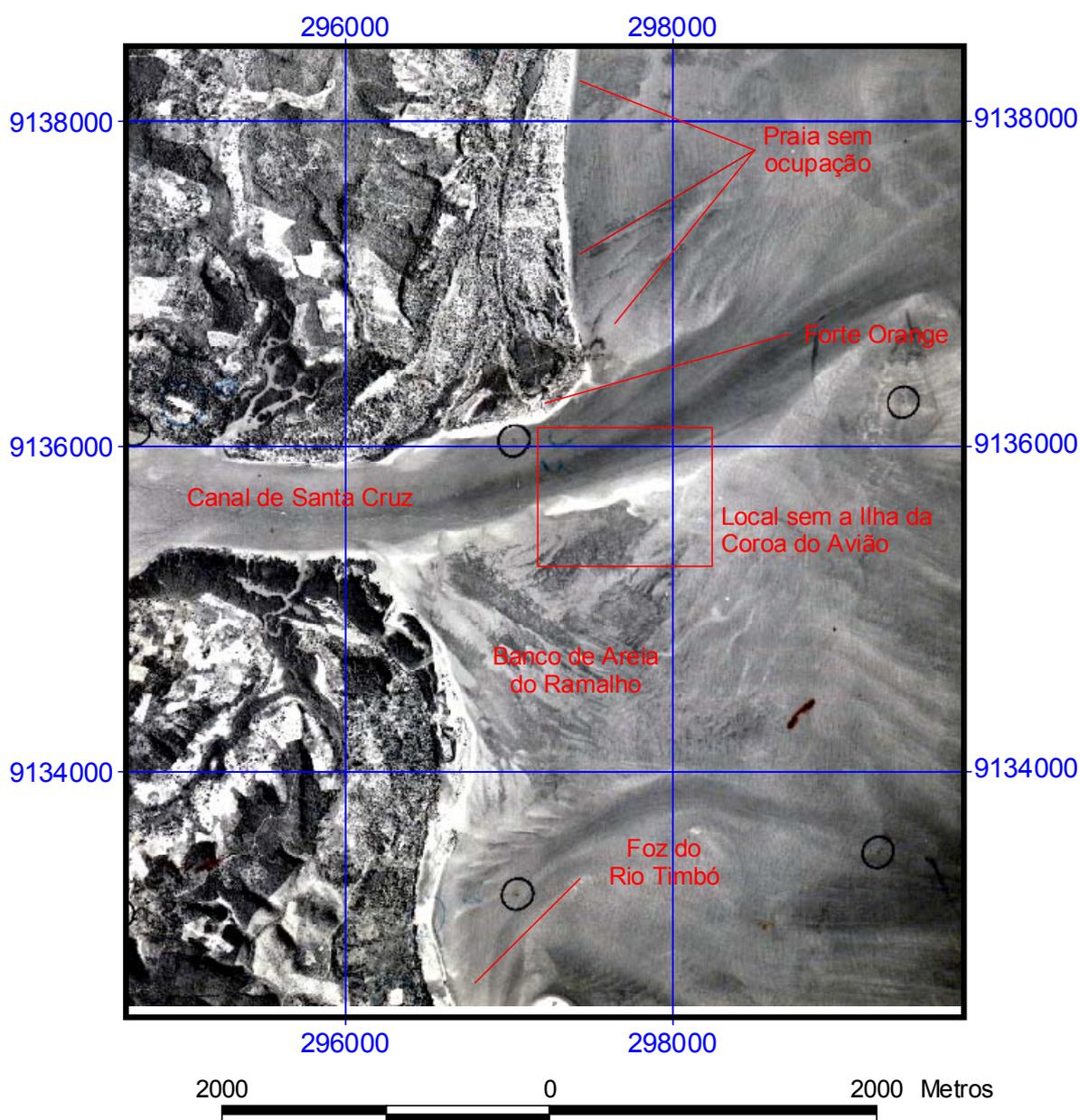


Figura 16. Fotografia aérea vertical da área entre a foz do rio Timbó e a praia de São Paulo. Escala original 1:30.000 de dezembro de 1969

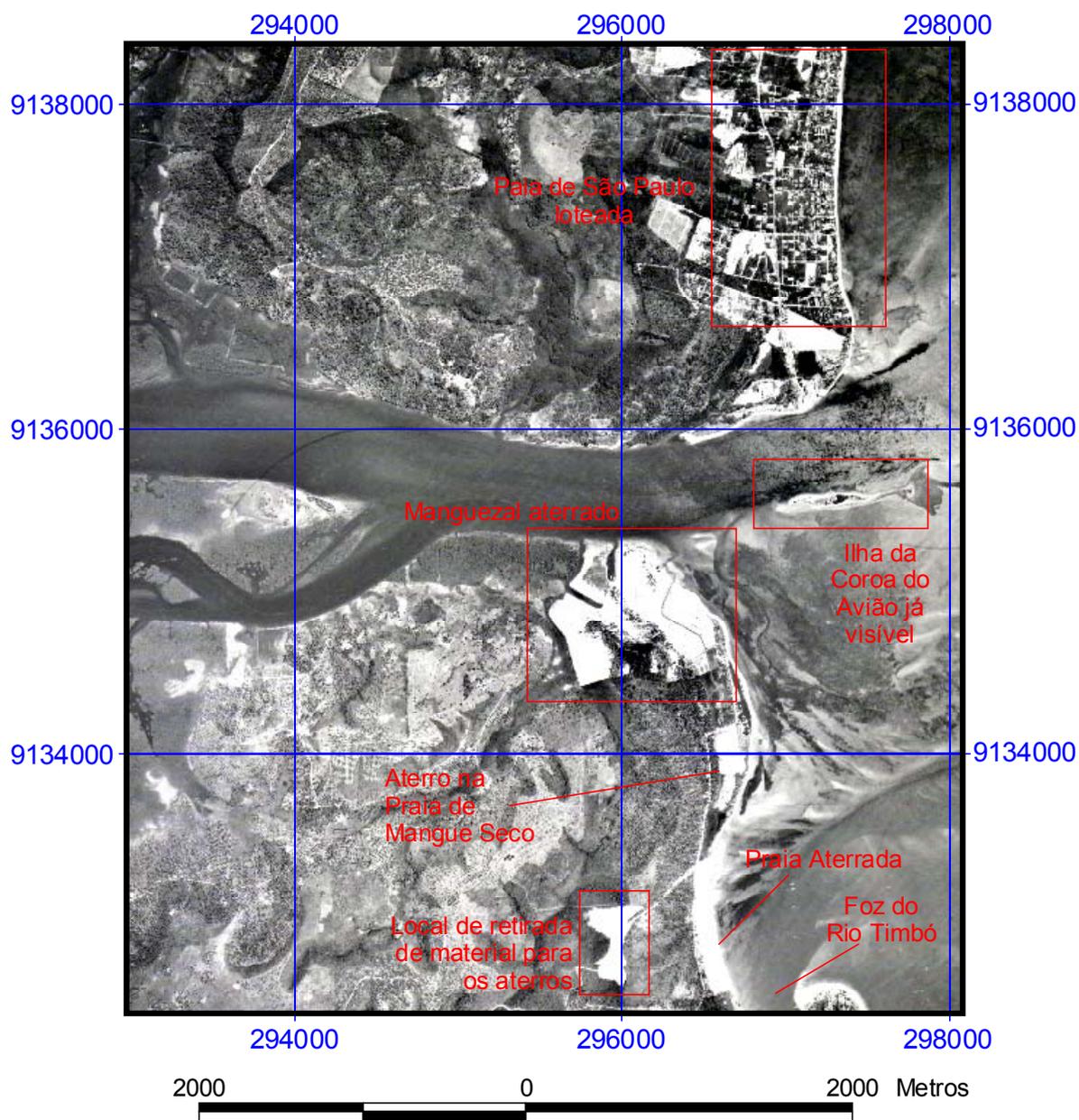


Figura 17. Fotografia aérea vertical da área entre a foz do rio Timbó e a praia de São Paulo. Escala original 1:30.000 de marco de 1988

6.2. Local

A linha de costa monitorada situa-se entre a foz do rio Timbó e a entrada sul do canal de Santa Cruz, na parte continental, e entre a foz do rio Paribe e a praia de São Paulo na extremidade sudeste da ilha de Itamaracá, no litoral norte pernambucano. O ambiente encontra-se descrito no Capítulo 5 e acrescenta-se à figura 18 uma imagem de satélite LandSat-7 com área do entorno.

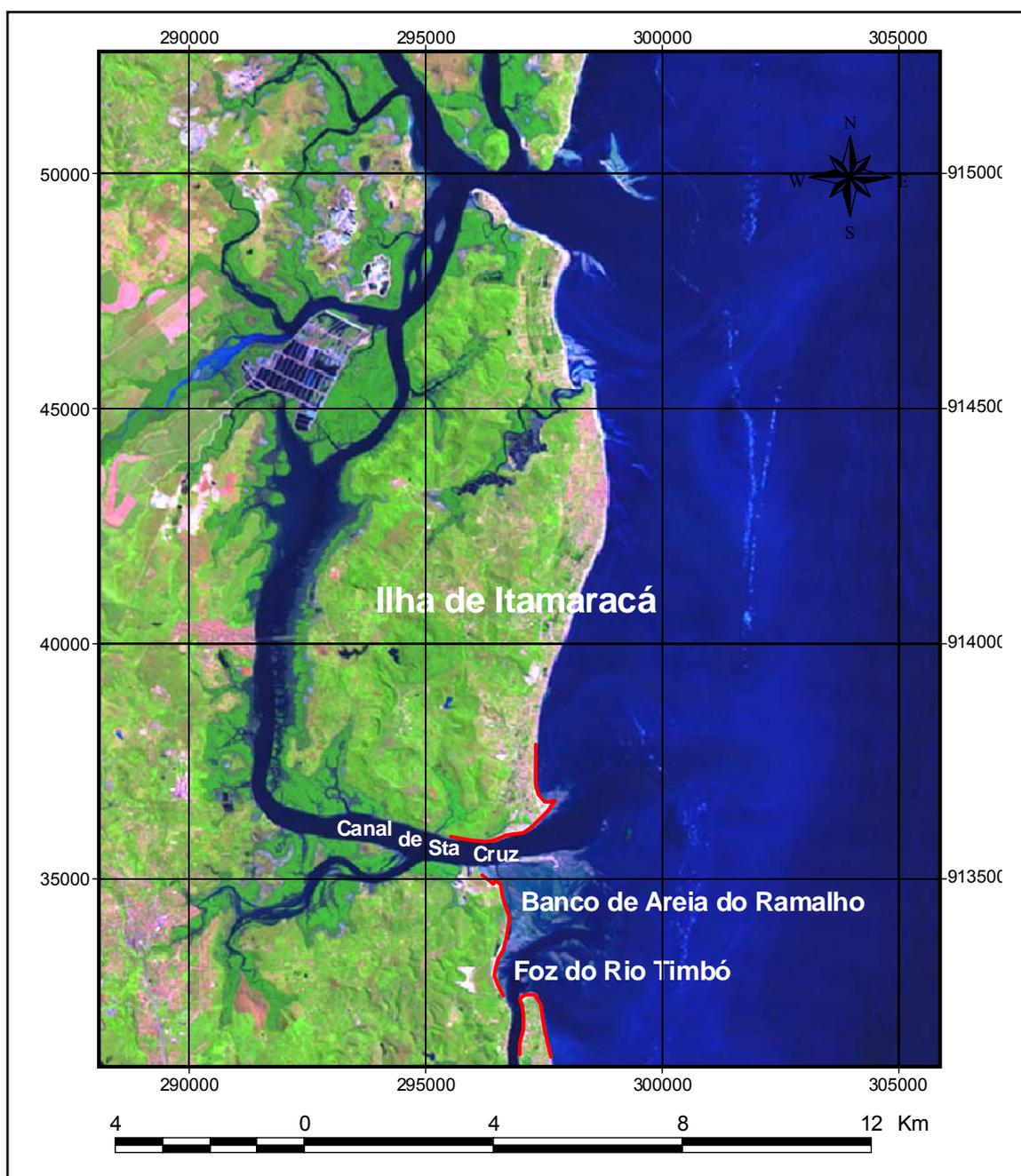


Figura 18. Imagem LandSat-7 ETM, combinação das bandas 5,4,3 de 10/09/2001, com a área do entorno da ilha de Itamaracá.

6.3. Detalhamento da Metodologia

A identificação da documentação adequada é a primeira etapa, seguida da compatibilização entre os documentos que formarão um banco de dados com informações espaciais da posição da linha de costa em quatro épocas diferentes. Esses dados serão analisados em ambiente digital considerando-se a precisão de cada levantamento.

6.3.1. A Identificação da Documentação

Pesquisou-se a documentação mais antiga do local para determinar o comportamento do ambiente em um intervalo de tempo maior possível. A primeira informação visual da entrada sul do canal de Santa Cruz é uma pintura denominada de "Vista de Itamaracá", óleo sobre tela, pintado por Frans Post em 1637 é importante por se tratar da primeira vista das Américas retratada por um pintor europeu (figura 19). O local volta a ser desenhado em uma gravura por Jonh Vingboons em 1660 (figura 20). A gravura mostra o rio Paripe entre o forte e o oceano e delimita o fluxo principal do canal de Santa Cruz, além de identificar na ilha de Itamaracá o povoado da Vila Velha com seus acessos.

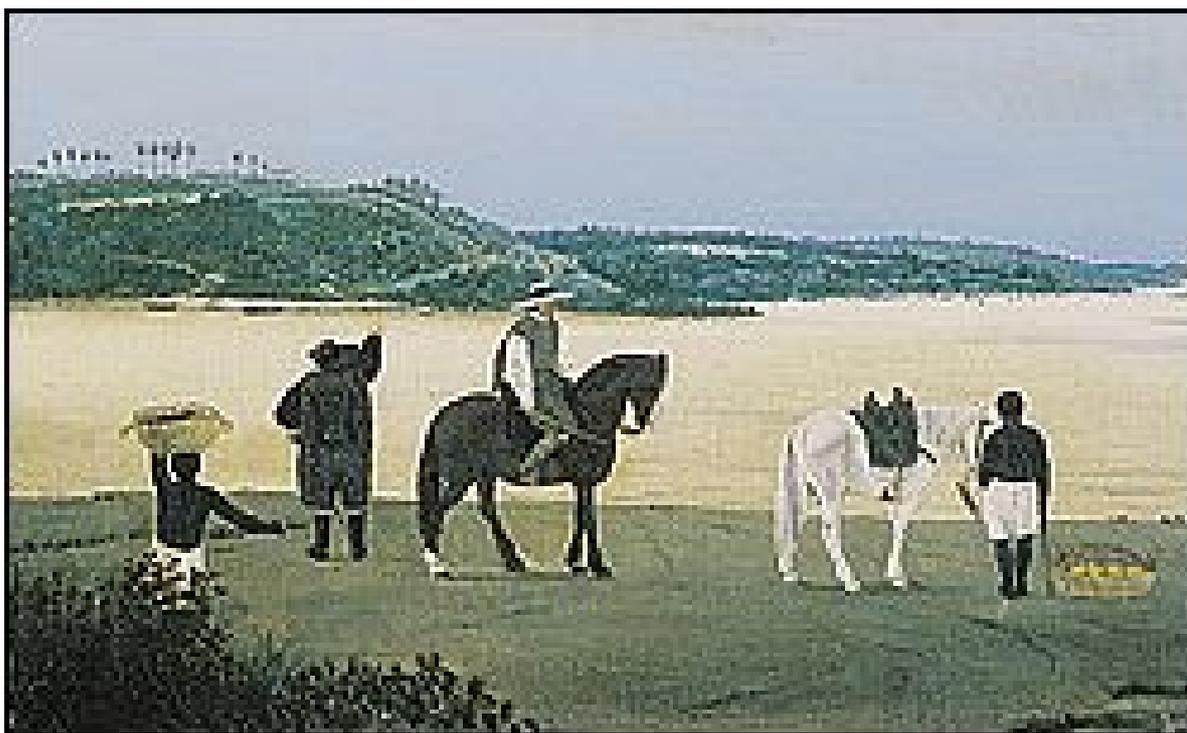


Figura 19. Pintura de Frans Post de 1637. Visualiza a entrada do canal de Santa Cruz a partir do continente com a visão do forte Orange. Fonte: <http://epoca.globo.com/especiais/rev500anos/paisagem.htm>

A metodologia considera desenhos e gravuras como documentos importantes para estudos e análises do ponto de vista histórico e qualitativo, entretanto sua geometria não é compatível para uma comparação com mapeamentos atuais. Na área pesquisada na década de cinquenta foram tiradas fotos aéreas com as antigas câmaras de formato 18 por 18 cm. Entretanto, o primeiro documento preparado com características cartográficas, tais como: datum e projeção UTM, foi a carta na escala

1:25.000 contratada pela SUDENE. A carta foi restituída pelo método fotogramétrico analógico, descrito em 3.3.2., com fotografias aéreas tiradas em dezembro de 1969.

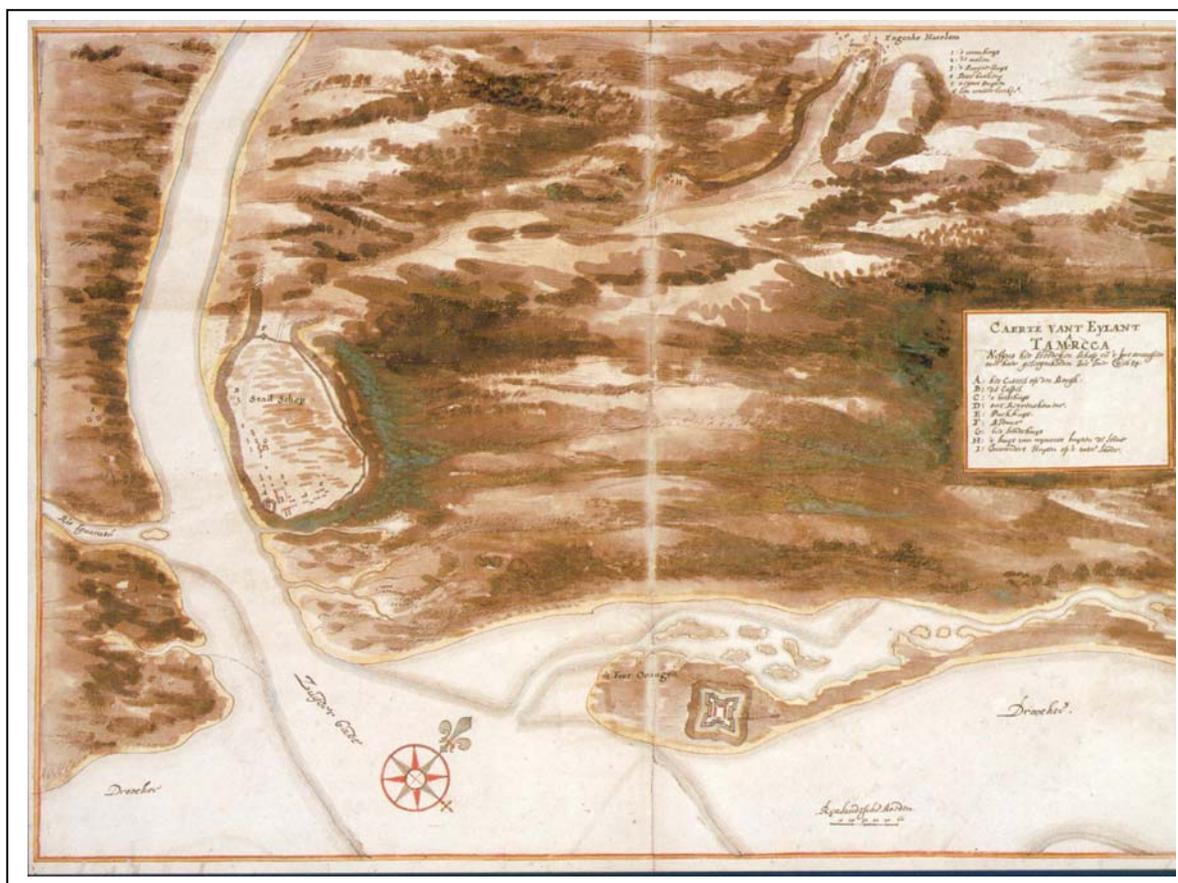


Figura 20. Vista de ilha de Itamaracá. Papel aquarelado de 47,6 x 69 cm de 1660. Fonte: Desenhos da Terra. Atlas Vingboons. Publicação organizada por Marcos Galindo e José Luiz da Mota Menezes. Instituto Cultural BANDEPE, 2003.

6.3.2. Digitalização da Carta

As duas cartas mais antigas que são impressas (o mapa de dezembro de 1969 e as ortofotocartas de março de 1988) foram orientadas e transformadas para o meio digital na mesa digitalizadora Digigraf Van Gogfi A0, pertencentes ao Decart. Utilizou-se o programa tipo CAD MaxiCad .

6.3.3. Adequação do Sistema de Referência

A cartografia brasileira adotou, a partir de 1969 um novo sistema de referência, o Sistema SAD-69, (vide sessão 3.5.2.). Essa modificação foi gradativa e até os dias atuais parte do mapeamento impresso ainda se encontra no sistema anterior. A referência antiga adotava como

figura geométrica para representar a terra o elipsóide de revolução proposto por Hayford onde o semi-eixo maior é de 6.378.388,00m e a excentricidade é de 1:297. Além das diferenças geométricas entre os elipsóides, os pontos fixos de origem são também diferentes, o atual tem como origem o vértice Chuá e o anterior ficava no vértice Córrego Alegre.

As cartas impressas estavam no sistema antigo e após a digitalização foram transformadas para o sistema SAD-69 compatibilizando-as com as outras duas: o mapa digital da Agência CONDEPE/FIDEM de 1988 e a medição com a tecnologia GPS de agosto de 2004. A transformação é semelhante a já descrita na sessão 3.5.4. e o IBGE fornece as translações a serem utilizadas nas coordenadas cartesianas($D_x=138,70m$, $D_y=-164,40m$ e $D_z= -34,4m$). A figura 21 mostra os mapas digitalizados nos dois sistemas com o deslocamento nas coordenadas planas UTM de 62,80m para leste e de 39,38m para norte.

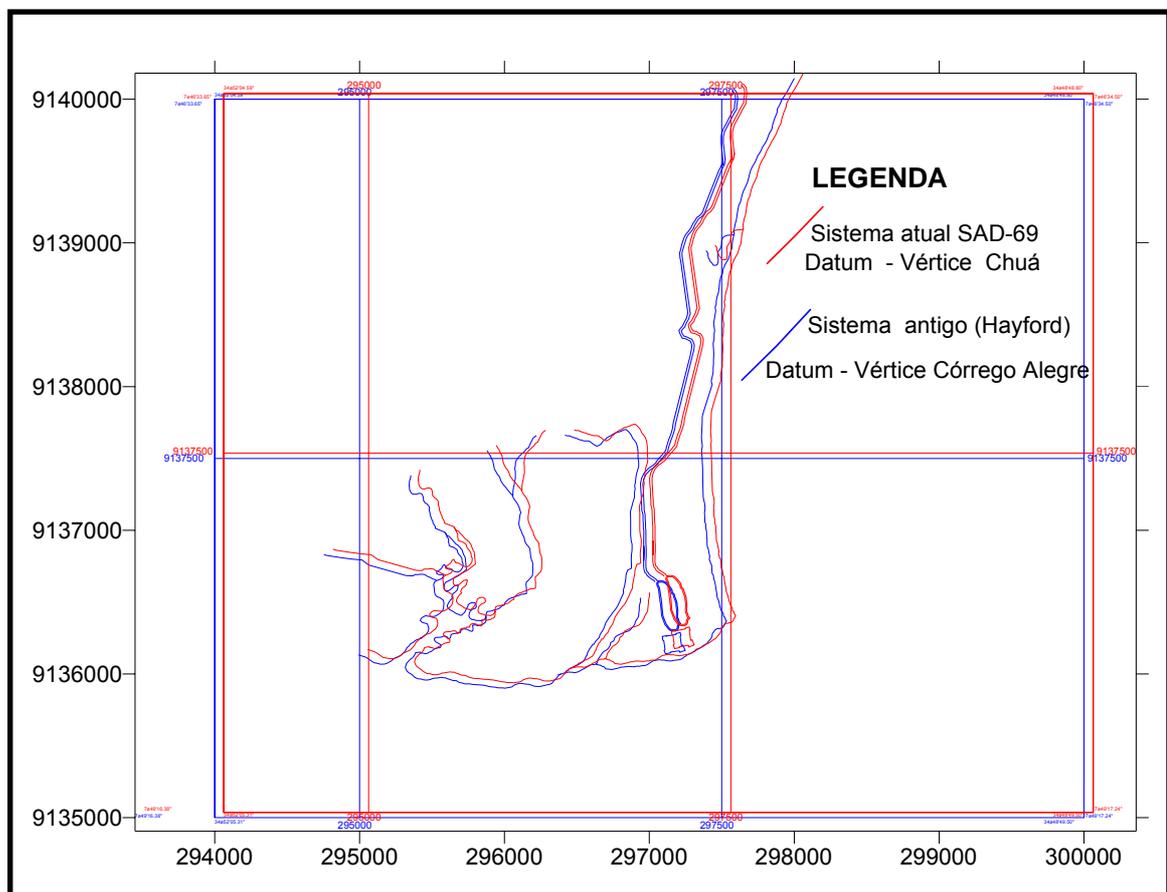


Figura 21. O mapa de 1969 digitalizado no seu sistema original (Hayford), à esquerda, e convertido para o sistema SAD-69, à direita, em coordenadas planas UTM.

6.3.4. As Cartas Digitais da Agência CONDEPE/FIDEM

As cartas digitais da área foram doadas para a pesquisa pela Agência CONDEPE/FIDEM Compõem um conjunto de 11(onze) arquivos obtidos por restituição fotogramétrica a partir de fotos de agosto de 1998. Dessas cartas foi extraída a informação com a linha de costa formando uma única base. A figura 22 visualiza a carta na área do forte Orange.

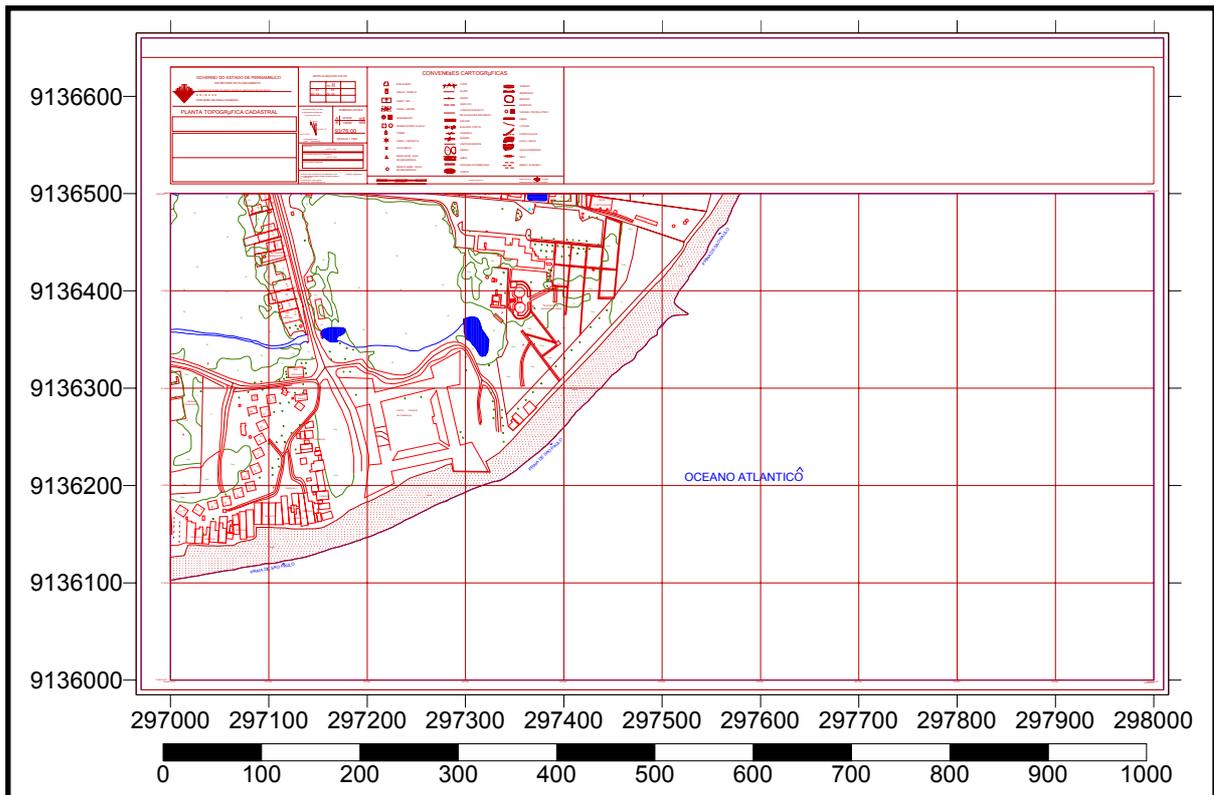


Figura 22. Carta digital da Agência CONDEPE/FIDEM com fotos de 1998, nomenclatura U1937600

6.3.5. levantamento com Receptores GPS

As medições foram realizadas com receptores GPS. Foram utilizados o par de receptores, tipo RASCAL 8 da Allen Osborne Associates Inc, pertencem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE- Decart.

O método utilizado foi o modo relativo cinemático, processo detalhado na sessão 3.4.4.3. Um permaneceu fixo em um marco sobre a muralha do forte Orange enquanto o outro acompanhou a linha de costa.

6.4. Discussão

Os documentos analisados são quatro, o primeiro, a referência espacial/temporal, é a Carta Planialtimétrica da SUDENE preparada a partir de fotos aéreas verticais tiradas em dezembro de 1969. Na seqüência, as ortofotocartas com fotografias de março de 1988, as cartas digitais da Agência CONDEPE/FIDEM com fotos de agosto de 1998 e, completando o intervalo de 35 anos de monitoramento, um levantamento com GPS geodésico em agosto de 2004.

A análise das variações da linha de costa precede de uma consideração sobre a precisão das linhas obtidas nos diferentes levantamentos. DOUGLAS e CROWELL(2000) e MOORE (2000) analisam a precisão dos antigos mapas americanos e indicam a necessidade de considerar suas incertezas. Em BRASIL (1984) é definido o PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica para as cartas produzidas no território brasileiro. O padrão é dependente da escala e definido para as cartas produzidas com alta qualidade, tipo A, em 0,5mm na escala da carta na planimetria para 90% dos pontos. Na seqüência os artigos 8º e 9º da citada norma.

“Art. 8º As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão da Exatidão Cartográfica-PEC, segundo o critério abaixo indicado:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico estabelecido.

§1º Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

§2º A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão. PEC= 1,6449 EP.

Seção 2 Classes de Cartas

Art. 9º As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A,B e C, segundo os critérios seguintes:

Classe A:

1. Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico 0,5 mm, na escala da carta, sendo 0,3 mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
2. Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico : metade da eqüidistância entre as curvas-de-nível, sendo de um terço desta eqüidistância o Erro Padrão correspondente. “

Na análise as linhas de costa obtidas nas cartas serão consideradas os intervalos dependentes das escalas finais dos mapas impressos. Na carta de 1969 será de $\pm 12,5\text{m}$ e na ortofotocarta de 1988 de $\pm 5,0\text{m}$.

6.4.1. Discussão em dois Períodos

O intervalo de 35 anos foi analisado em duas etapas. A primeira, entre dezembro de 1969 e março de 1988, quando se identifica próximo à linha de costa uma grande atividade antrópica com aterros, aberturas de vias e construção de casas. A segunda etapa, entre agosto de 1988 e agosto de 2004, quando é analisado o comportamento atual da linha de costa.

6.4.1.1. Primeiro Período de Dezenove Anos (1969-1988)

No primeiro período a linha de costa, na parte continental, é modificada por aterros que são quantificados no mapeamento de 1988. O mais ao sul, cria uma nova praia entre a antiga costa e uma linha de recife, é de 12,76 há. Na atual praia de Mangue Seco o aterro foi de 5,50 ha e o grande aterro na área do manguezal é de 48,24 ha. Os aterros totalizam 66,50 ha. A figura 23 apresenta as áreas aterradas.

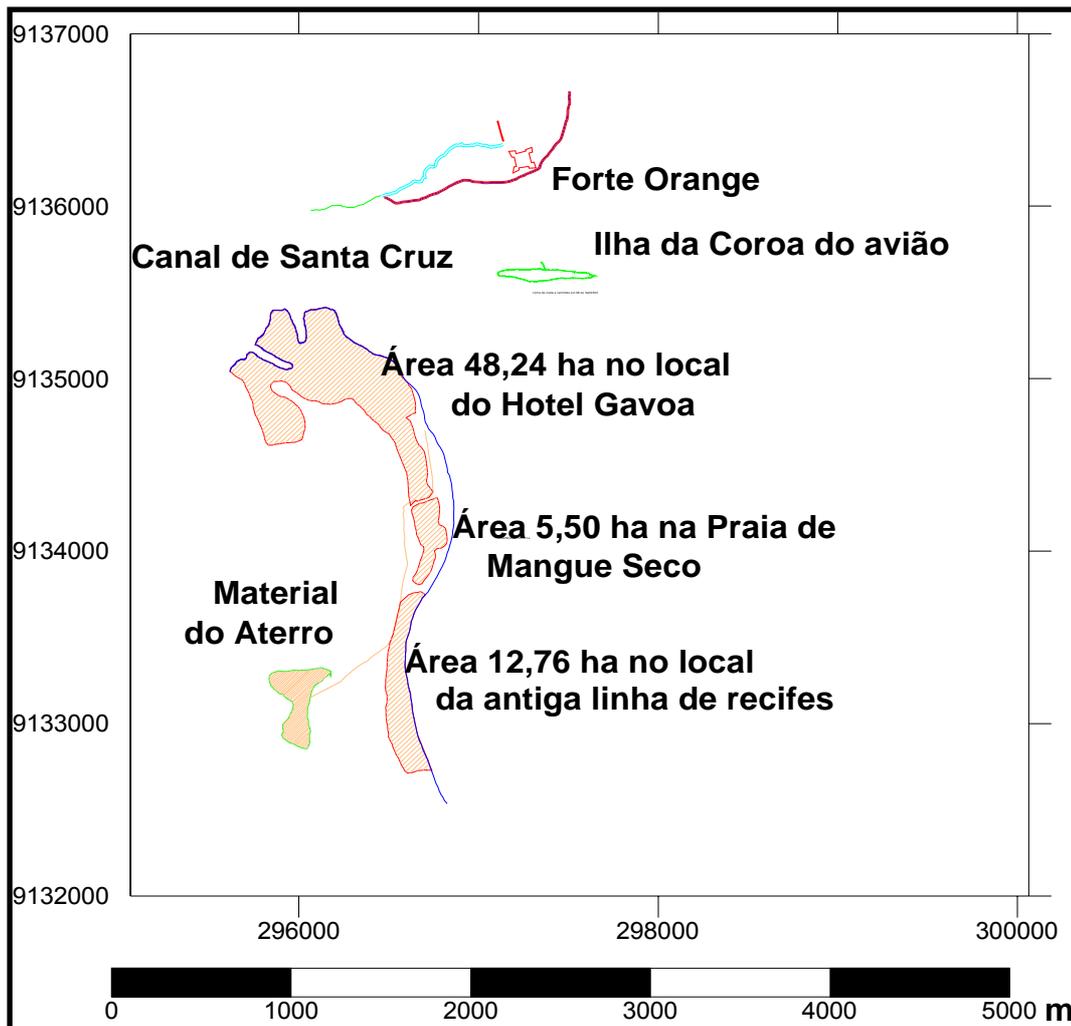


Figura 23. Os aterros identificados e quantificados na ortofotocarta de 1988 entre (1969-1988).

Na parte próxima ao forte Orange o comportamento foi de recuo da linha de costa, na frente e ao lado, perdendo de área 29.013,7 m². Seguindo para o norte, a partir de um ponto estável a linha tem um recuo médio de 14,95m, com um desvio padrão de 4,64 m na extensão de 856,0 m com uma área perdida de 12.542,5 m². A figura 24 apresenta a análise entre as linhas de costa de 1969 e 1988 no local próximo ao Forte Orange.

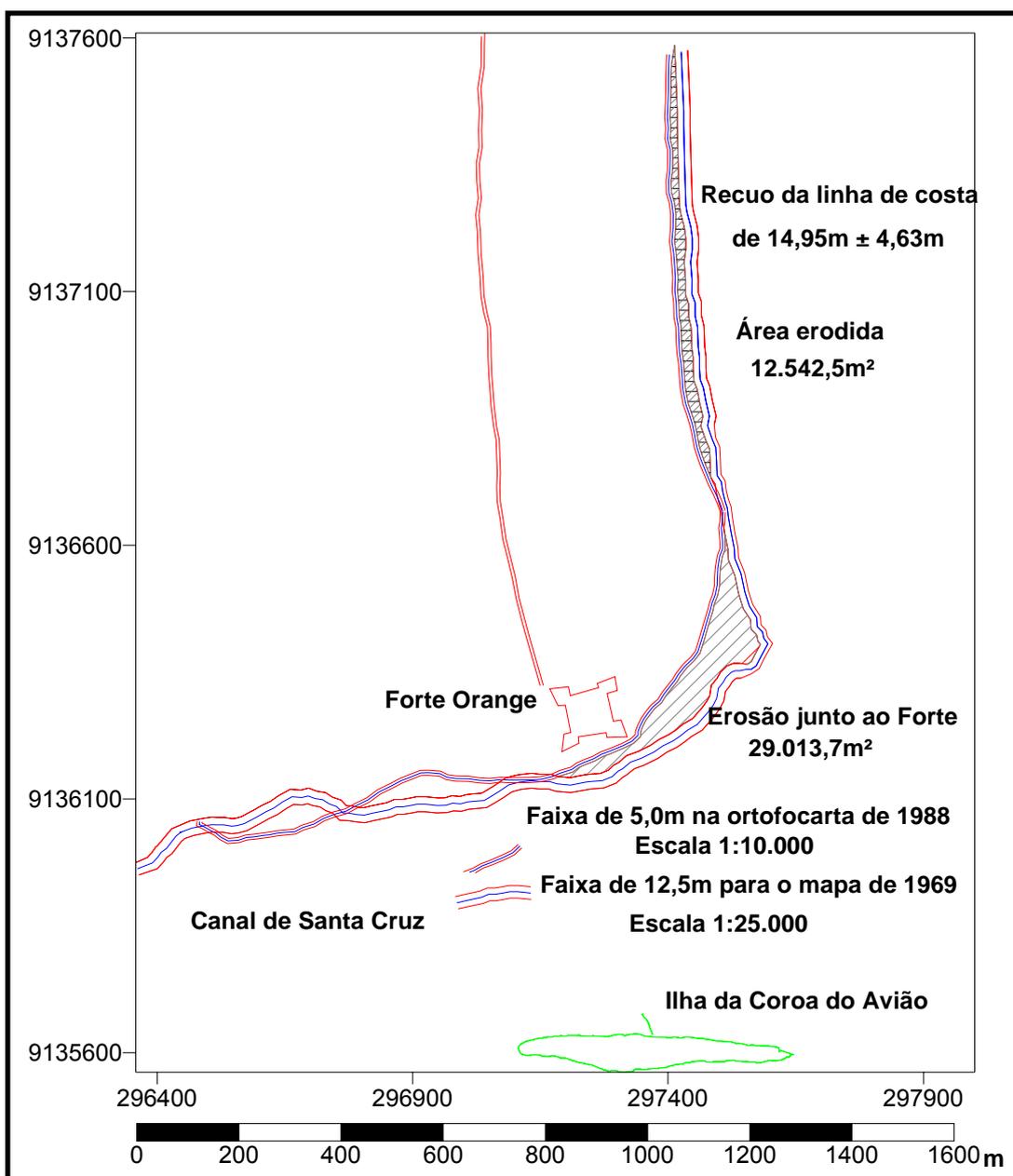


Figura 24. Combinação entre a linha de costa de 1969 com a de 1988. Com as linhas de costa representadas por intervalos.

6.4.1.2. Segundo Período de Dezesesseis Anos (1988-2004)

O segundo intervalo entre 1988 e 2004 possibilita a análise das alterações na linha de costa após as intervenções no ambiente do período anterior. Na parte continental a linha de costa tem um comportamento diferenciado com recuos e avanços, dois locais com erosão intercalados com uma área com acréscimo de sedimentos. AMARAL *at al.*(1990) já havia identificado esse comportamento utilizando-se de fotointerpretação. A figura 25 apresenta o resultado da análise entre as linhas de costa de 1988 e 2004.

A área mais ao sul perde 16.196,3 m² com um recuo médio de 23,20m e desvio padrão de 8,22m na extensão de 720,0m. A área acrescida é de 10.962,3 m² com um avanço médio de 24,82m e desvio padrão de 13,58 m na extensão de 450,0m. E o local com erosão seguinte tem a extensão de 850,0m e perde uma área de 29.125,9 m² com um recuo médio de 34,59m e desvio padrão de 18,75 m. Os dois locais com erosão totalizam uma perda de 45.321m² de área seca. Logo em seguida, na frente do hotel Gavoia observa-se um local com proteção causando um avanço não natural da linha de costa.

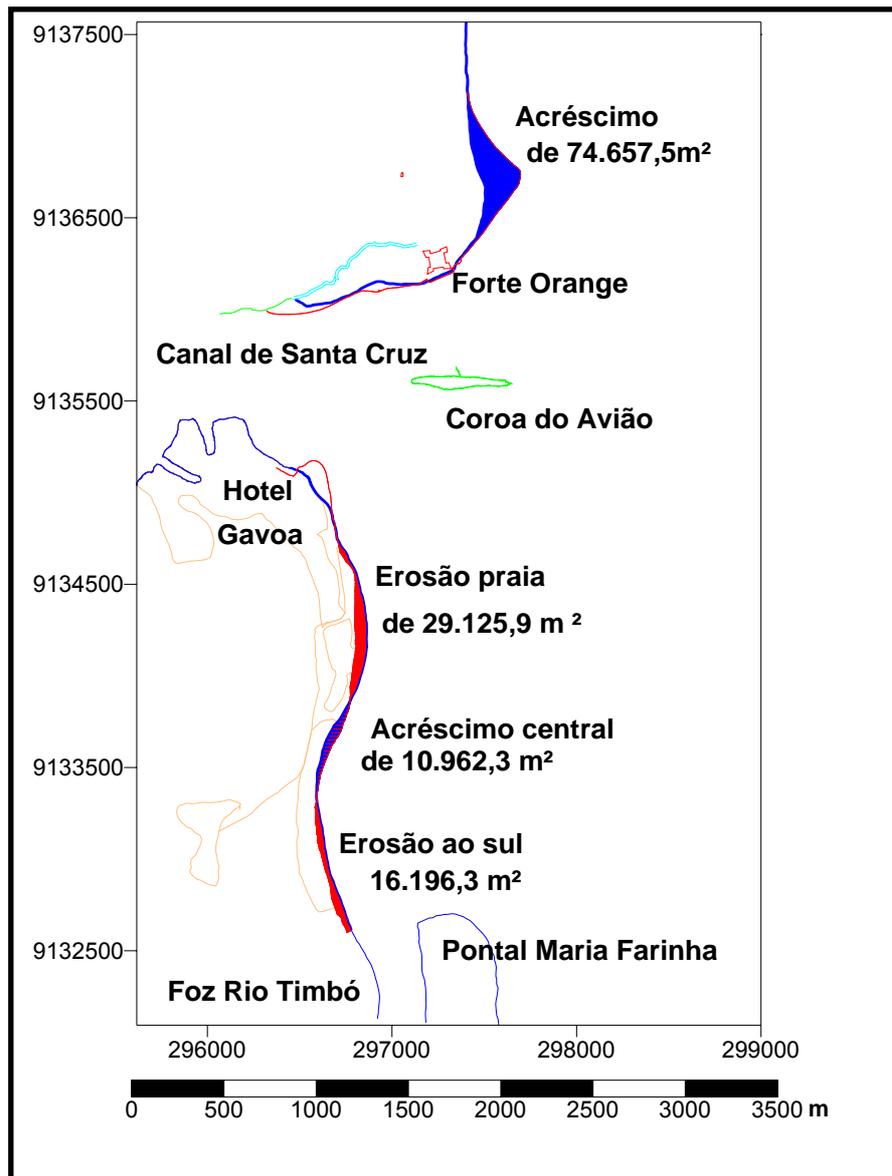


Figura 25. Combinação entre a linha de costa de 1988 com a de 2004.

Na ilha observam-se diversos comportamentos. Entre a foz do rio Paripe e o forte Orange há uma estabilidade na linha de costa, com a franja sedimentar permanecendo na mesma posição nos últimos seis anos, entre o mapa da Agência CONDEPE/FIDEM e a medição com GPSI. A figura 26 apresenta uma foto de agosto de 1998 onde o local é visualizado.

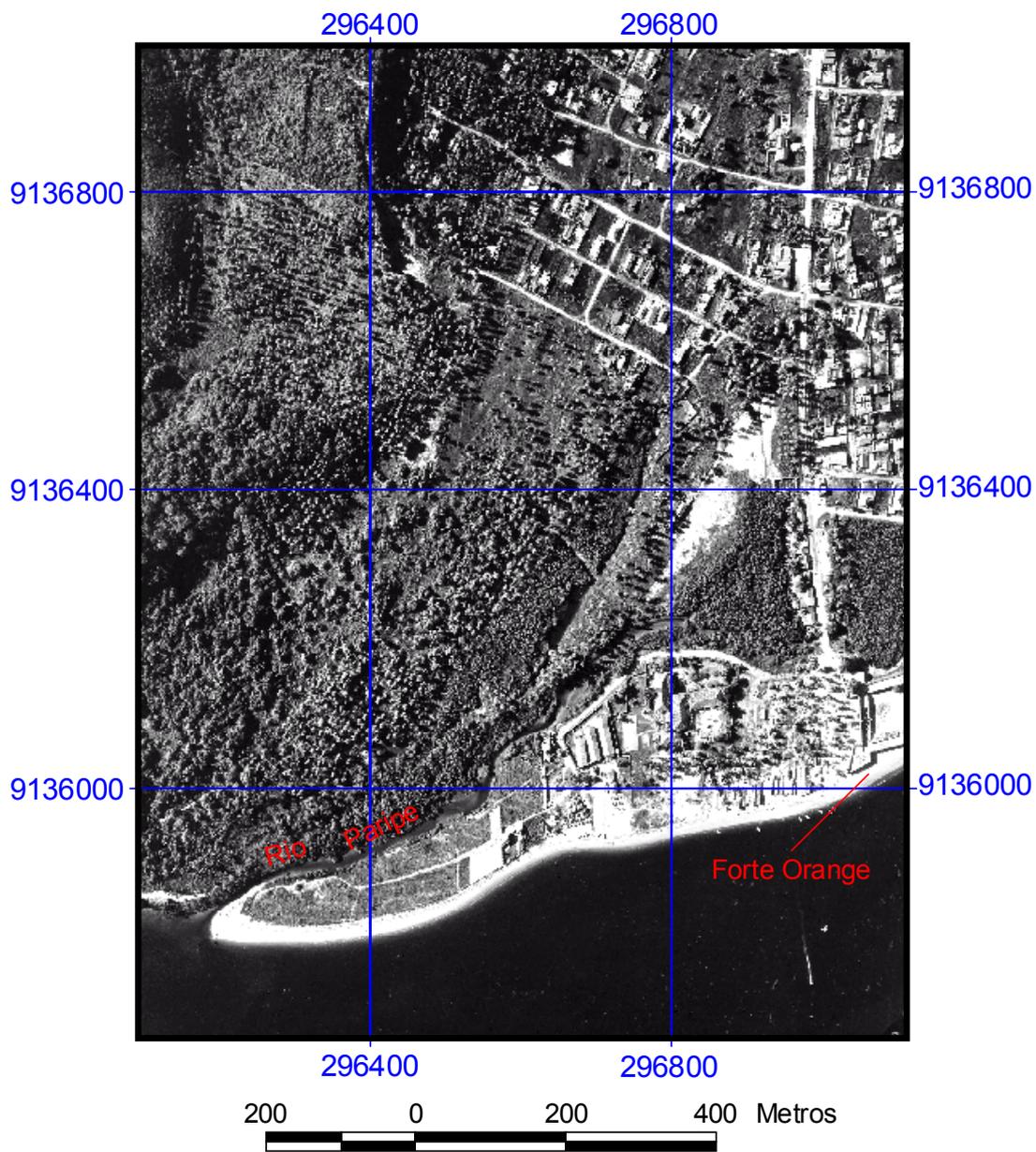


Figura 26. Fotografia aérea de agosto de 1998 entre o Rio Paripe e o forte Orange.

Nas proximidades do forte Orange, as medições do período indicam que as águas permanecem atingindo a muralha da extremidade sudeste e que a situação anterior a 1988 da existência de uma berma sedimentar entre as águas e o forte, não é mais observada. O desgaste nas paredes indica que a situação foi permanente no intervalo e a necessidade de proteção para o bem tombado é notória.

Imediatamente, ao norte do Forte, surge um pontal arenoso de forma triangular, que quando comparado com 1988 tem um acréscimo de 74.657,5 m², com um avanço máximo da linha de costa de 200m, seguida de uma região onde construções são protegidas por muros de contenção. Esse fenômeno ocorreu no intervalo de dez anos entre 1988 e 1998 (entre as ortofotocartas e o mapa da Agência CONDEPE/FIDEM) e permaneceu sendo acrescido até agosto de 2004. ARAÚJO *et al.* (2003) monitoraram o ambiente com dois perfis de praia e observaram uma grande mobilidade dos sedimentos que foram identificados como areias variando de média para fina. Na figura 24, o novo pontal arenoso é visível e quantificado.

6.4.2. As Tendências para o Comportamento da Linha de Costa

A análise comparativa entre as duas últimas medições do período, as cartas digitais da Agência CONDEPE/FIDEM, a partir de fotografias aéreas de agosto de 1998, e a medição com a tecnologia GPS, em agosto de 2004, permitem identificar as tendências do ambiente.

Na parte continental entre o aterro, próximo ao pontal de Maria Farinha, até as proximidades do hotel Gavoa cerca de 2.000m a última medição ficou a esquerda da anterior. Para quantificar o deslocamento da linha de costa o espaço foi dividido em seções de 20 em 20m e obteve-se como valor médio de recuo 24,33m com um desvio padrão de 8,2m, sendo de 44,01m o valor do maior deslocamento. A área total perdida foi calculada em 47.919,4 m².

As duas medições consideradas são as mais precisas do conjunto. O mapa digital da Agência CONDEPE/FIDEM é impresso na escala 1:1.000 e sua dispersão é de 50,0cm de acordo com o padrão de exatidão cartográfico e a medição com a tecnologia GPS, cuja a precisão será analisada no Capítulo 8 é ainda mais precisa. A incerteza da combinação das duas medidas é inferior a um metro e o deslocamento médio encontrado é maior que duas dezenas de metros.

A análise indica uma tendência de avanço da linha de costa como se o ambiente buscasse a antiga posição anterior aos aterros, já descritos, ocorridos antes de 1988. Na figura 27 é apresentada a erosão entre as medições de agosto 1998 e agosto 2004.

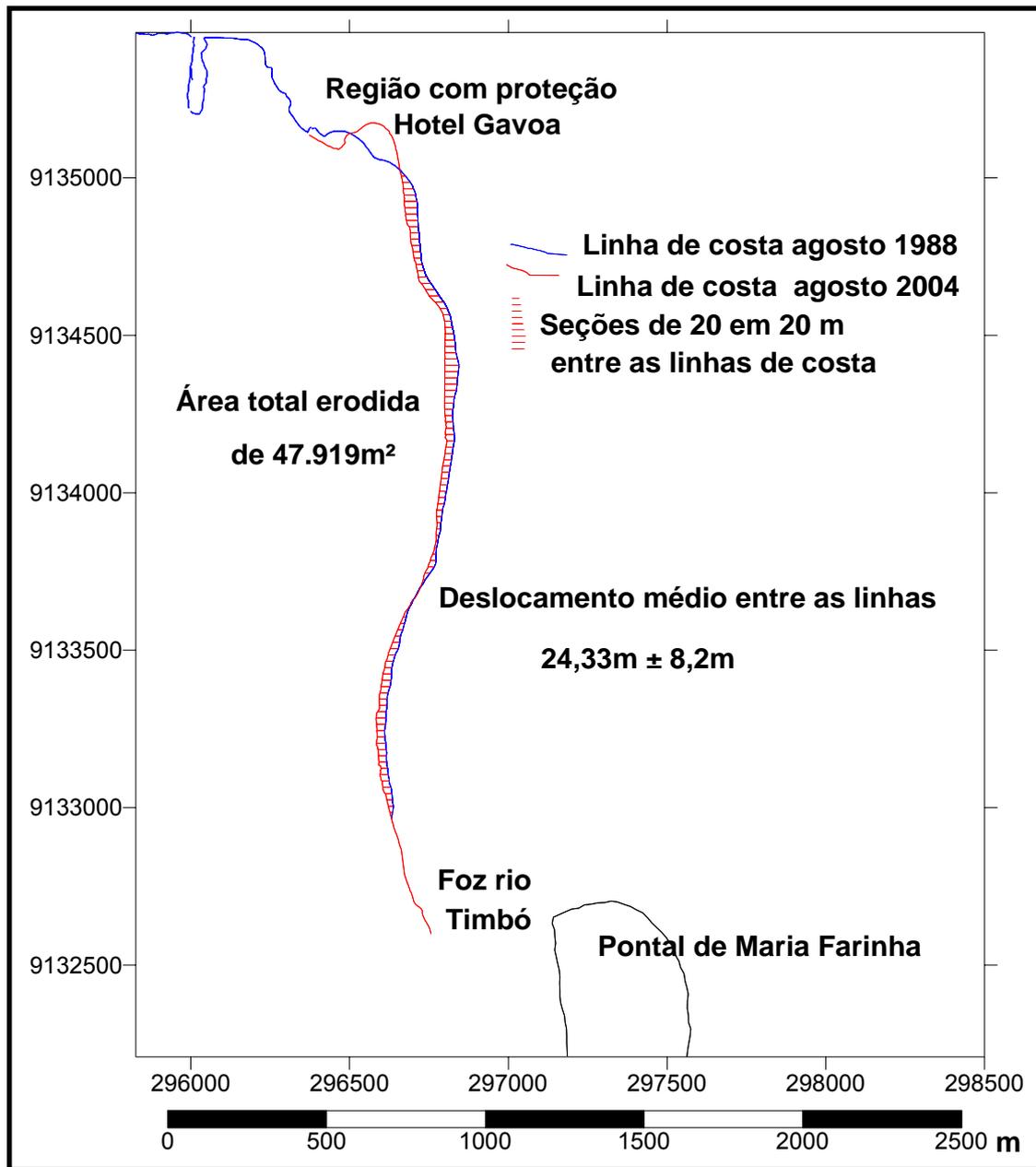


Figura 27. As alterações na parte continental entre agosto 1988 e agosto 2004.

Na região próxima ao forte Orange a tendência identificada é a seguinte: estabilidade desde a área ao sul até junto as muralhas do forte; na nova área acrescida um deslocamento sem uma alteração significativa de sua forma e dimensão. A figura 28 visualiza as linhas de costa de agosto de 1998 e agosto 2004.

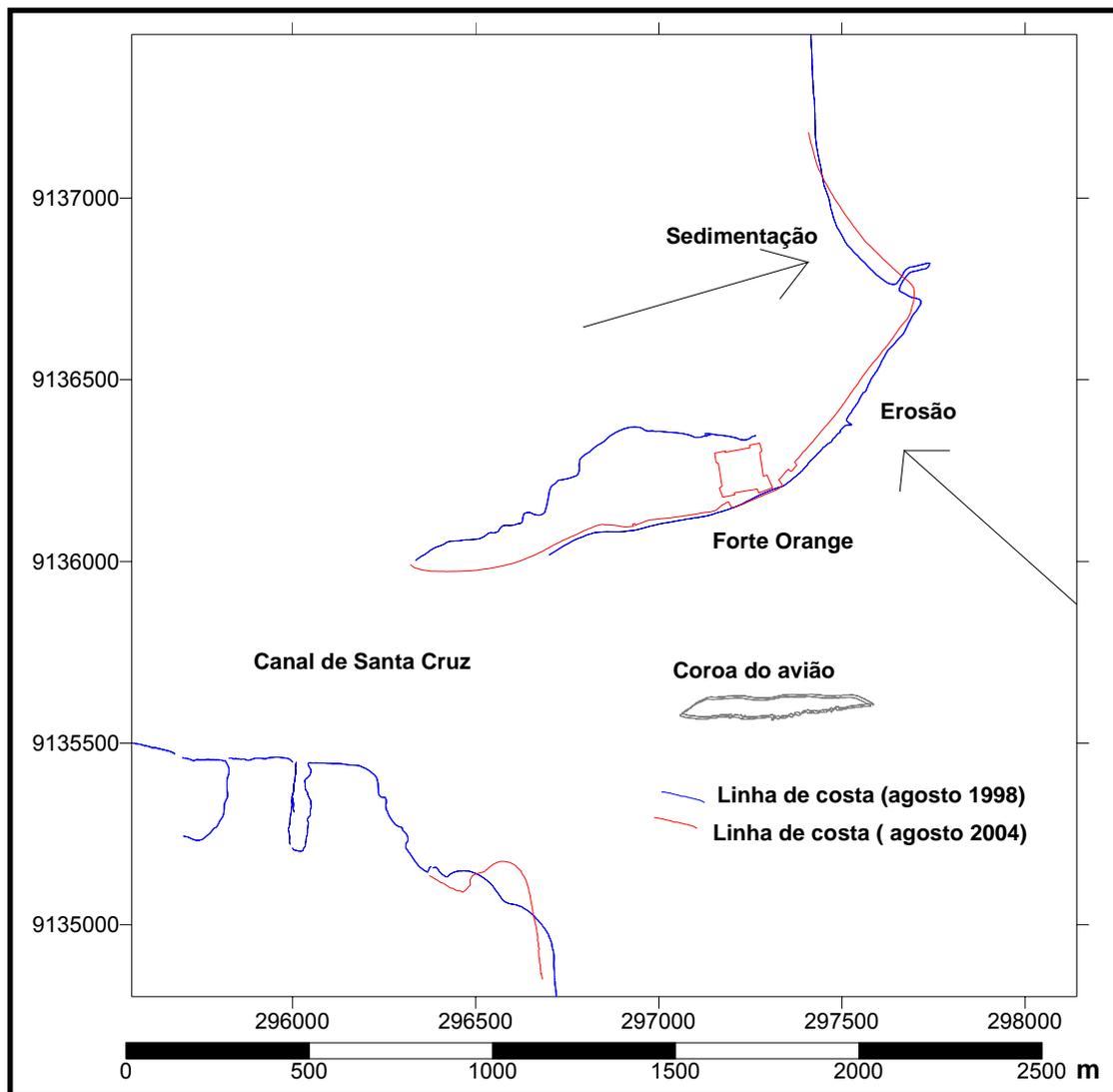


Figura 28. As alterações junto ao Forte Orange entre agosto 1998 e agosto 2004.

7. MORFODINÂMICA DA ILHA DA COROA DO AVIÃO ENTRE NOV/2000 E MAIO/2004

7.1. Introdução

Na década de setenta, aproximadamente no paralelo 07°48' 57" latitude sul e entre os meridianos 34°50' 06" e 34°50' 24" longitude oeste, onde havia um banco de areia só emerso nas marés de sizígia surge uma coroa que passa a acumular sedimentos arenosos e a permanecer emersa durante todo o ciclo de marés. Na fig. 16, pg. 35, uma fotografia aérea de dezembro de 1969 visualiza a área sem a presença da ilha, que já é visível no final dos anos setenta nas figuras 29 e 30.

O local é denominado de ilha da Coroa do Avião. Torna-se um ponto de encontro de barcos e logo desenvolve uma vegetação típica de restinga. O clima e a sua localização na desembocadura sul do canal de Santa Cruz atrai muitos visitantes. Um primeiro ancoradouro e uma grande barraca são construídos pela iniciativa privada e posteriormente retirados, quando o Patrimônio da União através de um Contrato de Seção passa a guarda do local para a Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, em 13 de janeiro de 1994, por vinte anos.

A ilha da Coroa do Avião situa-se na desembocadura sul do Canal de Santa Cruz, o seu eixo principal orienta-se aproximadamente na direção leste-oeste. O fluxo principal do canal de Santa Cruz, na direção nordeste, separa a ilha da Coroa do Avião da ilha de Itamaracá de uns 600m. No Capítulo 5 a área é descrita. O seu comprimento, na última medição em maio de 2004, foi de 520 m, com 30 a 60 m de largura.

As aves que sobrevoam os limites do continente americano passam a utilizá-la como sítio de repouso e alimentação. A base de pesquisa de aves migratórias é estabelecida no local e como consequência o espaço aéreo passa a ter restrições para o vôo de ultraleves.

O objetivo específico deste Capítulo é determinar os movimentos da ilha, em curto período, no próprio banco de areia, considerando a sua recente formação e o fato comprovado da existência de deslocamentos que têm obrigado a relocação das casas da base de pesquisa em aves migratórias, erguidas sempre na área seca e mais de uma vez atingidas pelas águas.

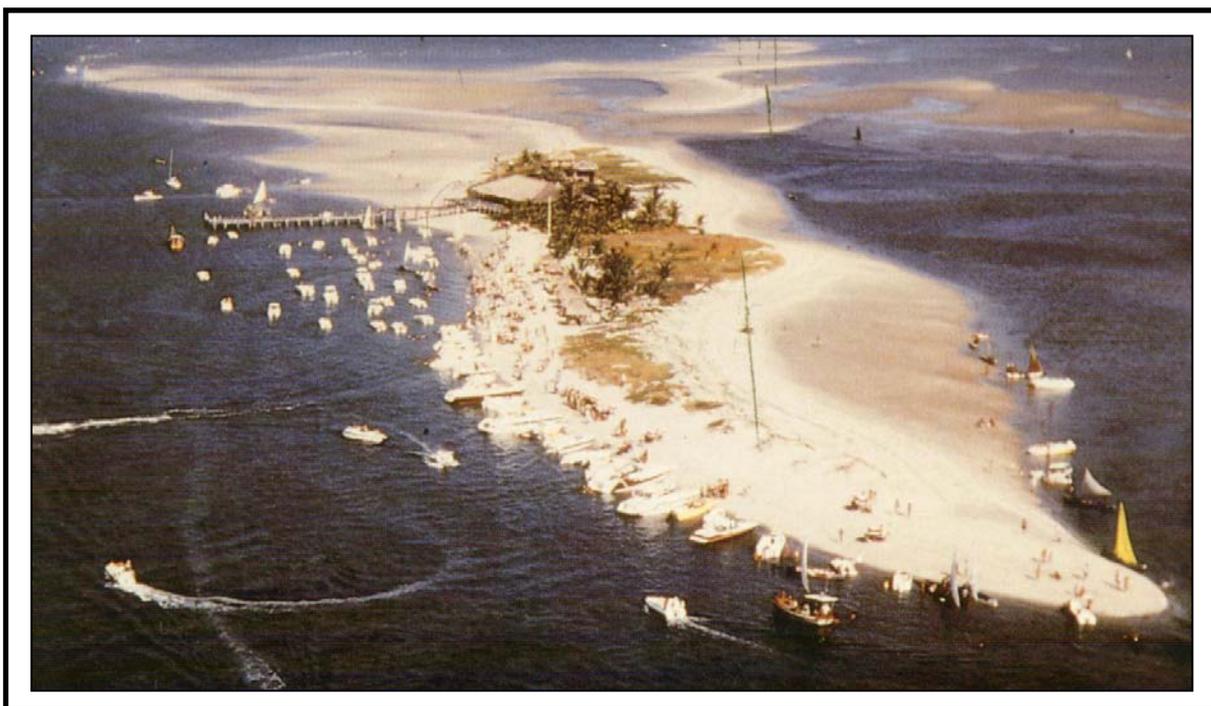


Figura 29. Coroa do avião no final da década de setenta com muitos barcos. Fonte: BRASCARD.Série Brasil Turístico.Nº 29.



Figura 30. Coroa do avião no final da década de setenta com o antigo píer. Fonte: BRASCARD.Série Brasil Turístico.Nº 30.

7.2. Detalhamento da Metodologia

7.2.1. Identificação da Linha de Costa

Na medição da linha de costa da ilha da Coroa do Avião optou-se por dois tipos de identificação para a linha: quando visíveis foram consideradas as feições que demarcam, obstaculando a passagem da água, e quando inexistente considerou-se o registro no sedimento da faixa úmida. Na parte sul da ilha barreira, face que recebe o vento, a linha de costa é medida considerando a marca da berma e em alguns locais, a base do barranco ou de uma proteção contra o avanço da erosão. A figura 31 visualiza os locais de medição ao sul da ilha.



Figura 31. Locais de medição da linha de costa na parte sul da ilha da Coroa do Avião.

No lado norte, com exceção da parte próxima ao novo pier, não é consolidada uma marca física na delimitação da linha de costa. No local encontra-se um gradiente suave de variação do relevo, em alguns locais com a proximidade da vegetação rasteira e outros com barracas para turistas. A linha de costa foi identificada a partir de uma associação direta com o nível da água e a medição foi realizada sempre após a maré máxima, considerando a média da linha da água da maré mais alta, de acordo com PAJAK e LEATHERMAM (2002). A figura 32 visualiza os locais de medição da linha de costa ao norte da ilha.



Figura 32. Locais de medição da linha de costa na parte norte da ilha da Coroa do Avião.

7.2.2. Equipamento e Método

As medições foram realizadas utilizando-se a tecnologia GPS, descrita no capítulo 3. Os equipamentos, os receptores GPS foram do tipo geodésico, equipamentos que recebem o código C/A e as portadoras L1 e L2, que pertencem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE.

O método utilizado foi o posicionamento relativo cinemático, processo detalhado no item 3.4.4.3. Um equipamento permaneceu fixo enquanto o outro acompanhava a linha de costa. A fig. 33 visualiza a metodologia.

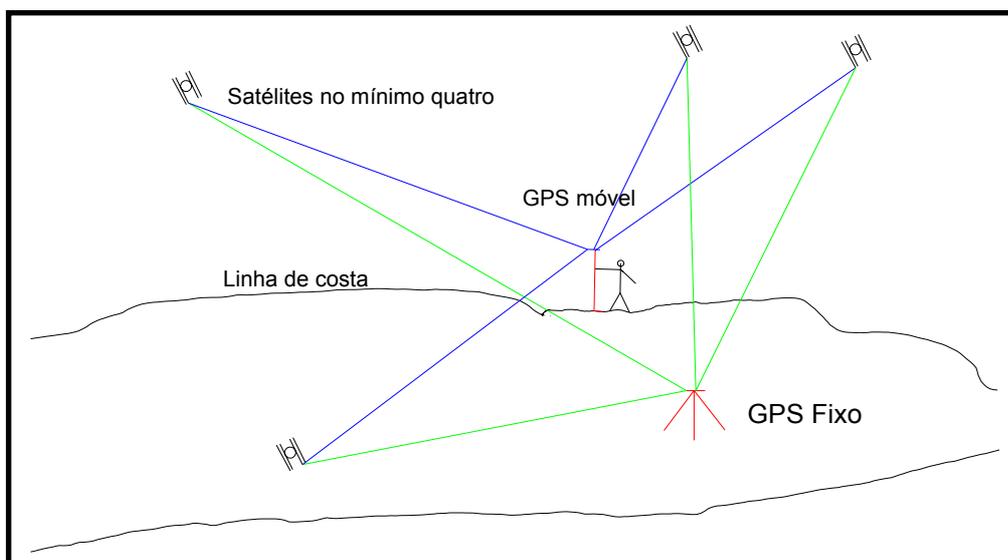


Figura 33. Metodologia do levantamento cinemático diferencial com dois receptores GPS.

As informações coletadas simultaneamente nos dois receptores de sinais GPS foram processadas no programa Trimble GPSurvey 2.35, quando as coordenadas do ponto próximo ao local de medição foram informadas e assim determinou-se as coordenadas dos pontos medidos da linha de costa.

O ponto fixo foi previamente calculado, suas coordenadas foram determinadas no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), a partir de um marco, um ponto físico, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC no Campus da UFPE. No local um equipamento GPS geodésico opera continuamente e seus dados são disponibilizados pelo IBGE, via Internet.

Nas medições das linhas de costa da ilha da Coroa do Avião dois pontos fixos diferentes foram utilizados, ambos implantados com o mesmo processo e com a mesma precisão, um no marco de concreto fixo na muralha norte do forte Orange e outro na própria ilha junto à fixação da antiga passarela para o museu da base de pesquisa. A escolha de que ponto fixo seria utilizado dependeu da disponibilidade de pessoal de apoio e dos trabalhos a realizar.

7.3. Os Resultados

O primeiro levantamento da linha de costa da ilha da Coroa do Avião, com GPS, foi realizado em novembro de 2000. O monitoramento continuou até maio de 2004, com um total de 19(dezenove) medições. As tabelas 1,2 e 3 com as datas, amplitudes da maré e o desenho da morfologia.

Tabela 1. As medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião entre os anos de 2000 e 2001

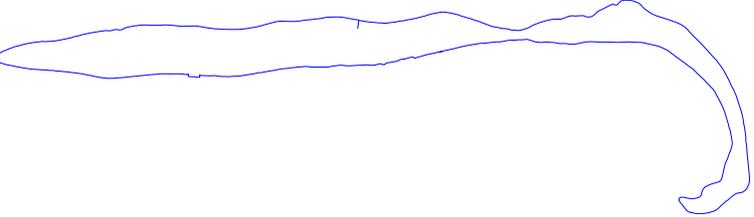
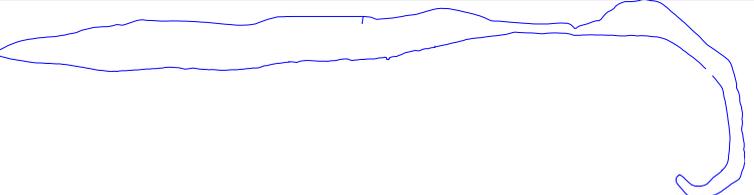
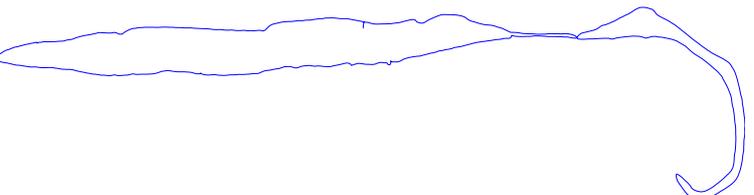
ORDEM	DATA	AMPLITUDE MÁXIMA DA MARÉ	MORFOLOGIA
1	21/11/2000	2.5	
2	07/08/2001	1.9	
3	03/09/2001	2.0	
4	18/09/2001	2.4	

Tabela 2. As medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião no ano de 2002.

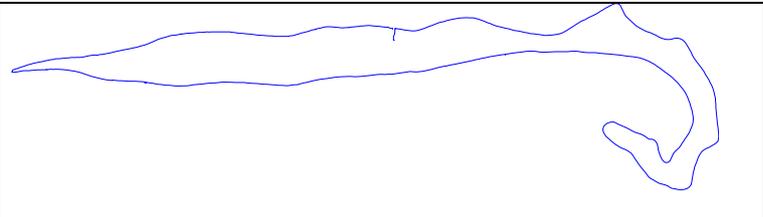
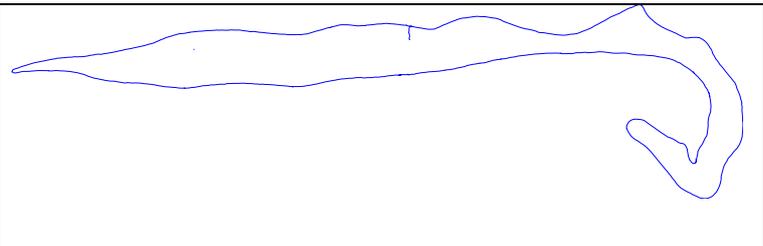
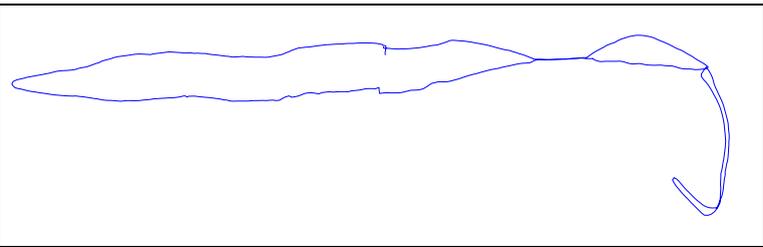
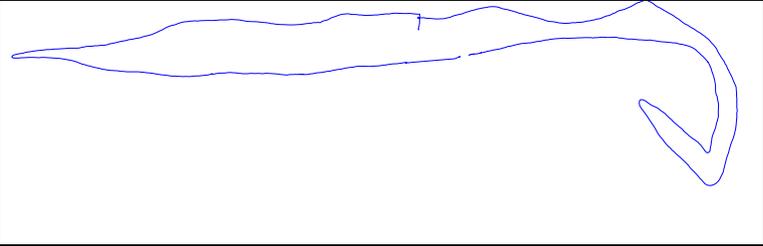
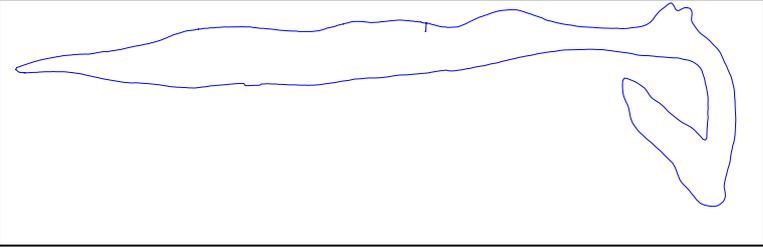
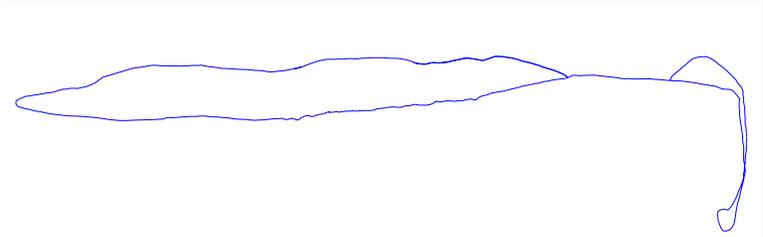
ORDEM	DATA	AMPLITUDE E MÁXIMA DA MARÉ	MORFOLOGIA
5	23/03/2002	1.7	
6	07/04/2002	1.8	
7	27/04/2002	2.5	
8	25/05/2002	2.3	
9	17/08/2002	1.8	
10	08/09/2002	2.5	

Tabela 3. As medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião entre os anos de 2003 e 2004

ORDEM	DATA	AMPLITUDE E MÁXIMA DA MARÉ	MORFOLOGIA
11	17/01/2003	1,9	
12	18/02/2003	2,3	
13	20/03/2003	2.5	
14	17/04/2003	2.5	
15	16/05/2003	2.4	
16	13/08/2003	2,3	
17	12/09/2003	2,0	
18	21/11/2003	2,3	
19	07/05/2004	2.4	

7.4. Discussão

O comportamento da área emersa da ilha da Coroa do Avião é analisado considerando-se às alterações nas linhas de costa medidas. Sendo considerada como linha de costa, na presente discussão, a feição definida na metodologia, Capítulo 4, como o local fora do alcance das águas inclusive nas maiores marés de sizígia. Das dezenove medições listadas, nas tabelas 1,2 e 3, são aceitas como representativas das linhas da costa seis determinações: A primeira em 21 de novembro de 2000; a sétima em 27 de abril de 2002; a décima em 08 de setembro de 2002; a décima terceira em 20 de março de 2003; a décima quarta em 17 de abril de 2003 e a décima nona em 07 de maio de 2004.

7.4.1. A Ilha da Coroa do Avião sob ação das Condições Naturais

A análise considera duas fases distintas no monitoramento da linha de costa da ilha da Coroa do Avião. A primeira compreendida entre a medição inicial em novembro de 2000 e setembro de 2002. No intervalo a ilha está submetida somente às condições naturais de vento, chuva, ondas e marés. Esse período de 22 meses é caracterizado por uma estabilidade na extremidade oeste da ilha enquanto a parte central e a leste, em ambos os lados ao norte e ao sul, têm a sua morfologia alterada de maneira diferenciada: ao sul com erosão e ao norte com acréscimo de sedimentos. Na figura 34 é observada a região de acréscimo ao norte, com $5720,22 \text{ m}^2$ e a área perdida, com a erosão ao sul de $3077,66 \text{ m}^2$. A razão mensal de acréscimo e de erosão está calculada na tabela 4 e são respectivamente de $260,01 \text{ m}^2 / \text{mês}$ e de $139,83 \text{ m}^2 / \text{mês}$.

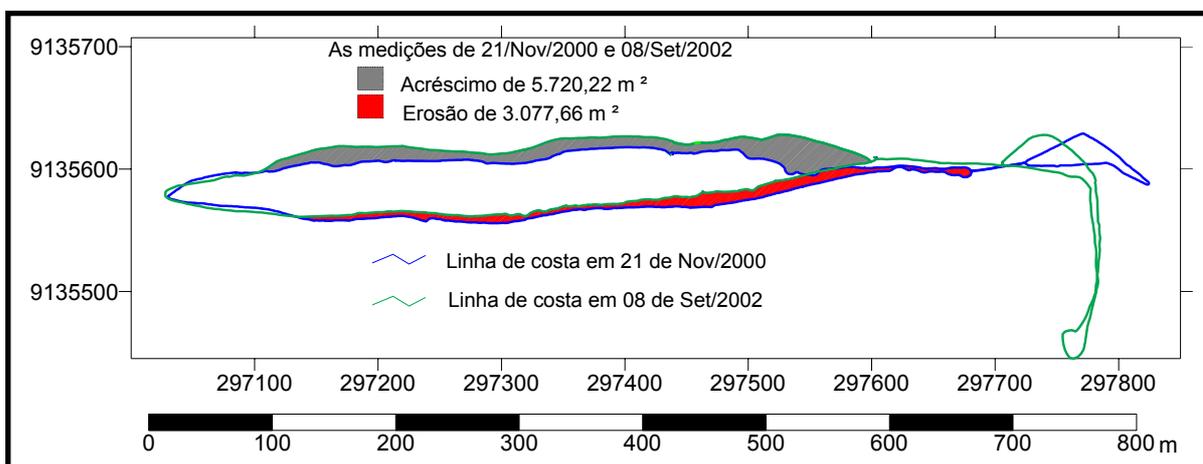


Figura 34. As áreas acrescidas e erodidas na ilha da Coroa do Avião entre as medições das linhas de costa em 21/Nov/2000 e 08/Set/2002.

A migração da área emersa da ilha é observada quando as duas medições, que são relacionadas a um mesmo referencial fixo, são sobrepostas. O movimento do centróide deslocando-se de 7,41m na direção norte com uma inclinação de 0,6m para leste quantificando essa migração. Os centros geométricos da ilha são determinados em coordenadas planas, no sistema de projeção

UTM (E,N), e deslocaram-se de 297307,75m e 9135586,58m em novembro de 2000 para 297308,35m e 9135593,99m em setembro de 2002. A figura 35 apresenta a superposição das medições e visualiza o deslocamento dos centróides.

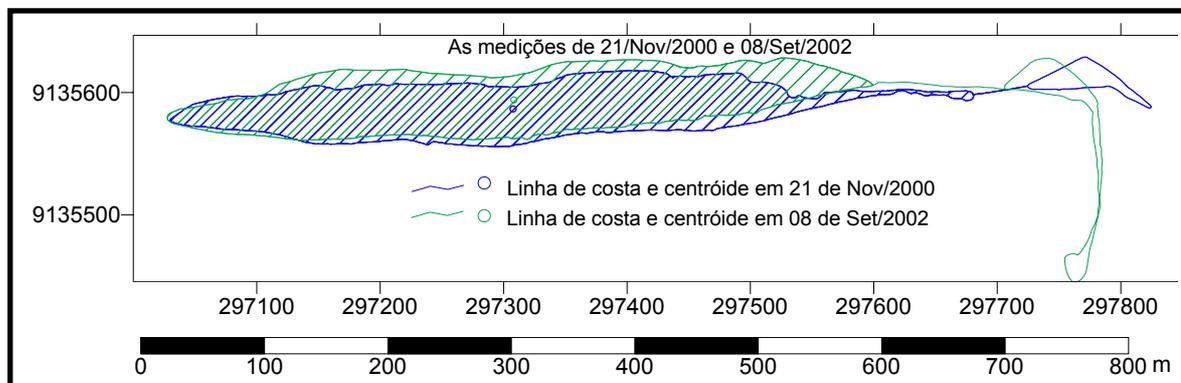


Figura 35. Combinação das medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião, em 21 de novembro de 2000 e 08 de setembro de 2002, com o deslocamento do centróide para norte.

7.4.2. Instalação de um Pier na Ilha da Coroa do Avião

Uma intervenção antrópica delimita a segunda fase. A partir de setembro de 2002 inicia-se a fixação de um ancoradouro, um píer, que é colocado à oeste da ilha entrando na água na direção norte, do lado do canal de Santa Cruz e completando a forma de um “ele” girando 90° para oeste.

A face norte da ilha à esquerda do píer, local até então estável, independente do lado predominante das ondas e dos ventos, passa a ser erodida. Na medição da linha de costa de janeiro de 2003, mesmo com a maré só atingindo o valor máximo de 1,9m, já foi o suficiente para a identificação do processo erosivo. Na figura 36 é visualizada a superposição das linhas de costa de novembro 2000 e janeiro 2003.

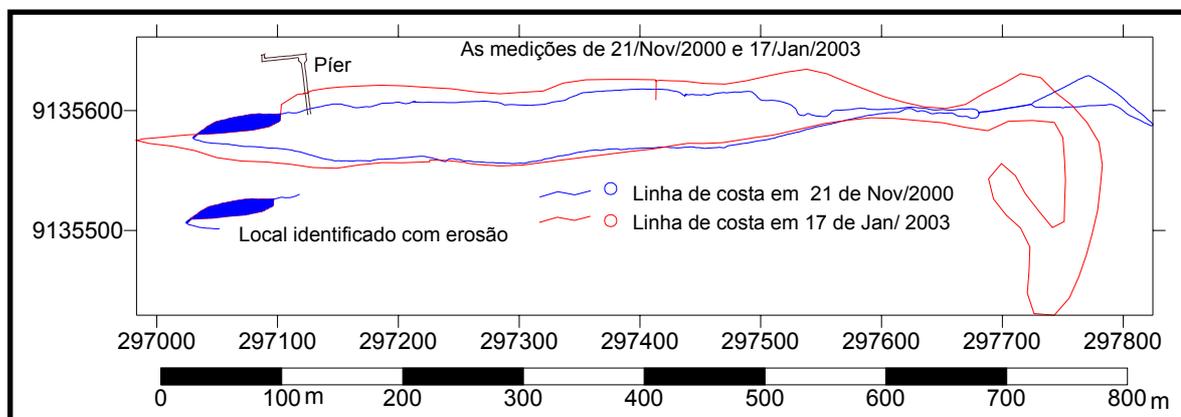


Figura 36. Combinação das medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião, em 21 de novembro de 2000 e 17 de janeiro de 2003, com a identificação de erosão junto ao píer.

Em março de 2003, quando ocorreu uma das marés mais altas do ano, de 2,5m, quantificou-se a área perdida em consequência do píer em 648,20m², e observou-se, também, que se a erosão permanecesse no mesmo ritmo certamente atingia a extremidade oeste da ilha reduzindo o seu comprimento. Na figura 37 observa-se a combinação de março/2003 com a medição inicial em nov/2000.

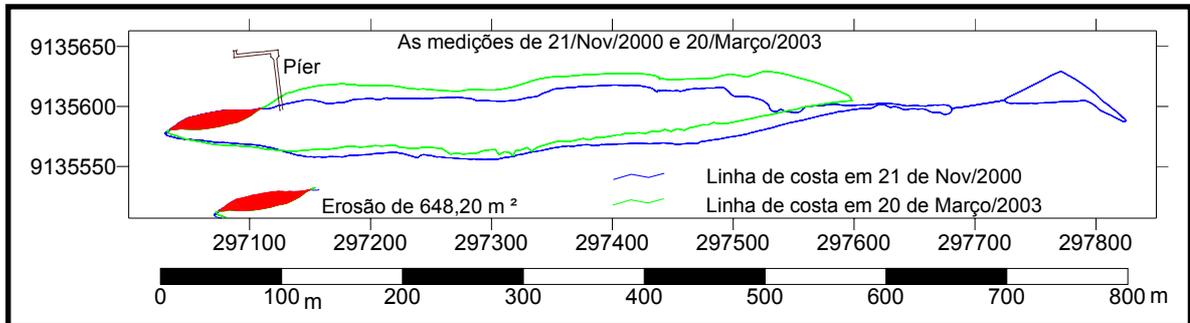


Figura 37. Combinação das medições da linha de costa da ilha da Coroa do Avião, em 21 de novembro de 2000 e 20 de março 2003, com a quantificação da erosão junto ao píer.

Complementando as alterações identificadas, quando da medição das linhas de costa a extremidade oeste da ilha foi fotografada em 03 de abril de 2003, na ocasião da maré de 2,5m. Na figura 38 são observadas as ondas atingindo o local e em seguida, logo após a maré baixar as marcas da erosão são visíveis nas figuras 39 e 40, com a vegetação sendo afogada, o barranco erodido e a extremidade oeste sem proteção e com indicação clara de redução.



Figura 38. As ondas atingindo a extremidade oeste da ilha quando da maré de 2,5m, em 03 de abril de 2003. Ao fundo a estrutura do píer com a construção na ilha.



Figura 39. Observa-se a erosão na extremidade oeste da ilha da Coroa do Avião. A vegetação da parte superior desce e é atingida pela água, após a maré de 2,5m, em 03 de abril de 2003.



Figura 40. Observa-se uma intensa erosão no lado norte da ilha da Coroa do Avião, com a vegetação caindo da parte superior do barranco após a maré de 2,5m em 03 de abril de 2003.

7.4.3. O Período Completo, os 42 meses, entre Novembro de 2000 e Abril de 2004.

A análise completa do período de monitoramento, os 42(quarenta e dois) meses, entre novembro de 2000 e maio de 2004 considera as alterações na morfologia da ilha produzidas por causas naturais combinadas com as conseqüências da fixação do ancoradouro. A última medição da série, em 04 de maio de 2004, com uma maré de 2,4m, está visualizada na figura 41 e na figura seguinte, a figura 42 associada com a primeira de novembro de 2000.

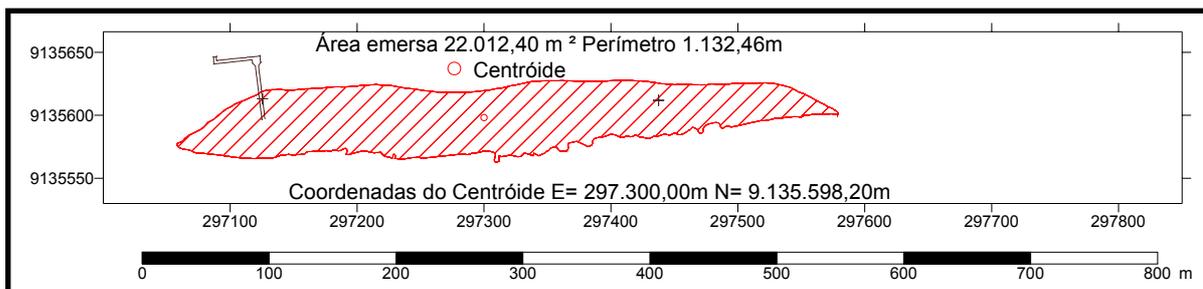


Figura 41. Linha de costa da ilha da Coroa do Avião em 07 de maio de 2004.

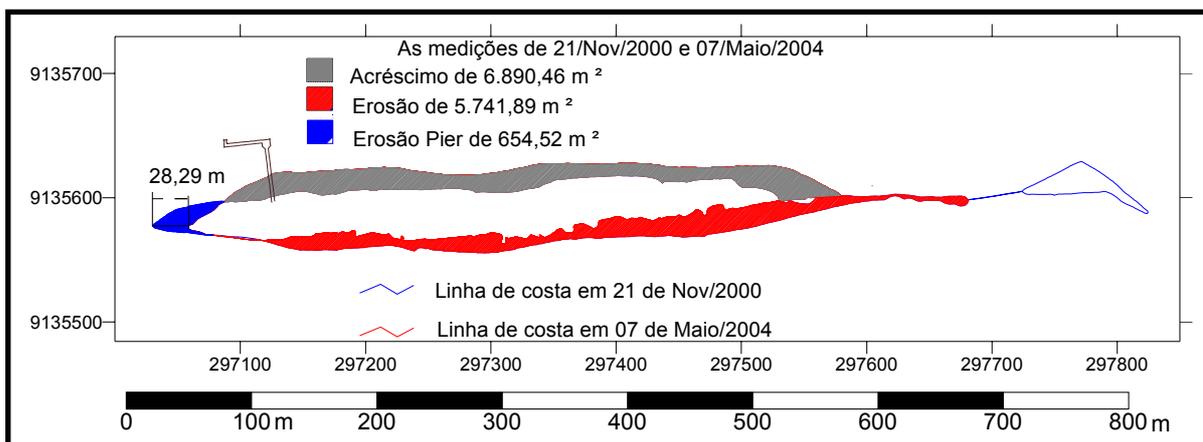


Figura 42. As áreas acrescidas e erodidas na ilha da Coroa do Avião, durante todo o período de monitoramento, entre em 21 de novembro de 2000 e 07 de maio de 2004.

O lado sul da ilha, atingido diretamente pelo vento sudeste, ver tabela 8, combinado com a ação das ondas é erodido e perde no período 5741,89 m². A análise do comportamento da erosão, observando-se os resultados no período total, indica que o processo é contínuo. A sua razão mensal de perda de área emersa de 136,71 m² /mês, para todo o período, é representativa visto que nas etapas é de respectivamente 139,83 m² /mês e 133,21 m² /mês.

O lado norte da ilha, excetuando-se a extremidade oeste após o píer que será discutido em separado, recebe sedimentos e a linha de costa avança incorporando áreas secas que se tornam inacessíveis ao alcance das águas mesmo nas maiores marés de sizígia. A área total acrescida é de 6890.46 m². A análise do seu crescimento não é linear, como ocorre com a erosão na face sul. Nos primeiros 22 meses, ver tabela 4, o acréscimo é de 4,8 vezes maior que o valor acrescido nos últimos 20 meses do acompanhamento. A razão mensal de área acrescida de 260,01 m²/mês é reduzida para 58,51 m²/mês e o seu valor médio para todo o período de 164,04 m² /mês não é um valor representativo para a previsão do comportamento da face norte.

O balanço geral, durante o período de 42 meses de monitoramento, é positivo. A área total acrescida ao norte subtraída da erodida ao sul e da erosão antrópica do píer é de 494,05 m², (ver tabela 4). A informação da variação geral da área pode ser também determinada comparando as áreas emersas da ilha em maio 2004 e novembro 2000, que são de respectivamente de 21.489,9 m² e 22.012,40 m², sem considerar os deslocamentos relativos no próprio banco de areia, o valor obtido é 522,50 m². A diferença entre os valores nos dois procedimentos é de somente 28,45 m² (522,50 - 494,05). Essa diferença em área distribuída no perímetro de 1100m determina uma faixa de discrepância de 2,6 cm. A questão da precisão é discutida no Capítulo 8.

O deslocamento do centróide no período total de monitoramento, que caracteriza a migração da área emersa da ilha, foi de 11,62m para norte com uma inclinação de 7,75m na direção oeste, considerando-se as posições inicial e final, respectivamente de 297307,75m e 9135586,58m em novembro de 2000 e 297300,00m e 9135598,20 em maio de 2004. A Figura 43 apresenta o deslocamento dos centróides

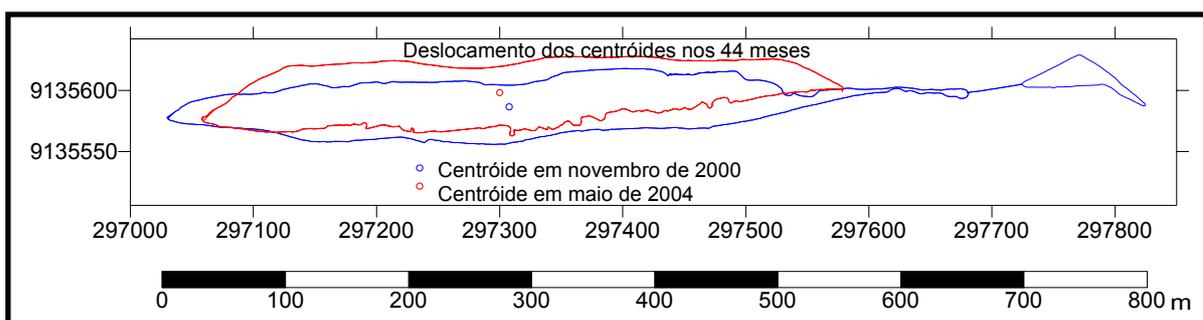


Figura 43. O deslocamento do centróide da ilha da Coroa do Avião entre novembro 2000 e maio 2004.

7.4.4. A Migração das Linhas de Costa

O deslocamento médio da linha de costa ao norte, positivo (+), e ao sul, negativo(-), encontram-se na tabela 5 com os respectivos desvios e períodos. No primeiro intervalo, os vinte e dois primeiros meses, entre novembro 2000 e setembro 2002, determinou-se que o recuo médio ao sul é de 5,60m, de uma forma homogênea, com um desvio padrão de 2,50m. Enquanto que ao norte o avanço é maior de 11,54m e o seu desvio de 5,83m. O desvio maior retrata a falta de homogeneidade do deslocamento que é mais concentrado a leste (ver figura 33).

Os últimos vinte meses, entre setembro 2002 a maio 2004, o comportamento da migração, é alterado. Ao sul, com a intensificação da erosão, a linha de costa recua entre a vegetação de restinga e os coqueiros, com um valor médio de 6,24m e deixa de ser regular com um desvio de 3,0m. Ao norte o avanço é menor e regular, de 4,52m com desvio de 2,57m, com concentração mudando para oeste. Ao final dos 42 meses o deslocamento médio da linha de costa na face com erosão é de 10,38m, valor próximo ao deslocamento do centróide para norte.

A migração explica o fato da necessidade da transferência das instalações da base de pesquisa de aves migratórias e da queda de coqueiros. Na figura 44 são apresentadas as seções entre as linhas de costa e na figura 45 o avanço com reentrâncias entre a vegetação.

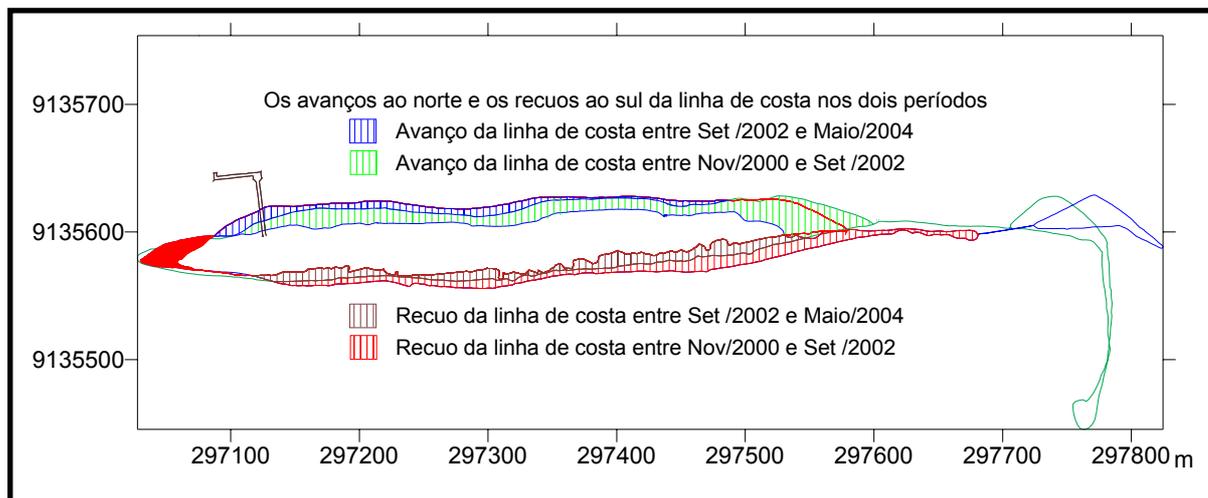


Figura 44. As seções entre as linhas de costa espaçadas de 5 em 5m.



Figura 44. O avanço da erosão entre a vegetação.

Tabela 4. Razão mensal do acréscimo (+) e da erosão (-) nos lados norte e sul da ilha da Coroa do Avião entre novembro de 2000 e maio de 2004

Período (meses)	Lado Sul		Lado Norte		Extremo oeste (m ² .mês ⁻¹)	
	Área Período (m ²)	Razão mensal (m ² .mês ⁻¹)	Área Período (m ²)	Razão mensal (m ² .mês ⁻¹)	Área Período (m ²)	Razão mensal (m ² .mês ⁻¹)
Nov/2000- Set/2002 (22 meses)	(-) 3077,66	(-) 139,83	(+) 5720,22	(+) 260,01	Sem alteração	-----
Set/2002- Maio/2004 (20 meses)	(-) 2664,23	(-) 133,21	(+) 1170,24	(+) 58,51	(-) 654,52	(-) 32,73
Nov/2000- Maio/2004 (42 meses)	(-) 5741,89	(-) 136,71	(+) 6890,46	(+)164,05	(-) 654,52	(-) 32,73

Tabela 5. Os deslocamentos médios da linha de costa, positivo (+) ao norte no local do acréscimo e negativo (-) ao sul norte nos locais de erosão, nos períodos discriminados.

Período (meses)	Lado Norte		Lado Sul	
	Máximo (m)	Média ± desvio padrão(m)	Máximo (m)	Média ± desvio padrão(m)
Nov/2000-Set/2002 (22)	(+) 31,25	11,54 ± 5,83	(-) 11,70	5,60 ± 2,50
Set/2002-Maio/2004(20)	(+) 11,19	4,53 ± 2,57	(-) 13,19	6,24 ± 3,00
Nov/2000-Maio/2004 (42)	(+) 27,99	14,25 ± 4,52	(-) 22,01	10,38 ± 5,00

7.4.5. O Desequilíbrio no Ambiente com a Intervenção Antrópica

Na local atingido pela implantação do píer o processo erosivo, antes restrito a face norte, passa a remover sedimentos da extremidade oeste e em maio de 2004 a sua redução já é de 28, 29m, (ver figura 41), assim a ilha perde aproximadamente um terço da distância total entre o ancoradouro e seu o limite oeste.

A área total erodida nas proximidades do píer em maio de 2004 é de 654,52 m². Esse valor não era esperado porque no início do processo, no ano anterior, em março de 2003 a erosão já tinha atingido 648,20 m² e com a perda de sedimentos na extremidade oeste o valor final erodido deveria

ser necessariamente maior. A figura 46 visualiza as duas situações, sempre referenciadas a novembro de 2000.

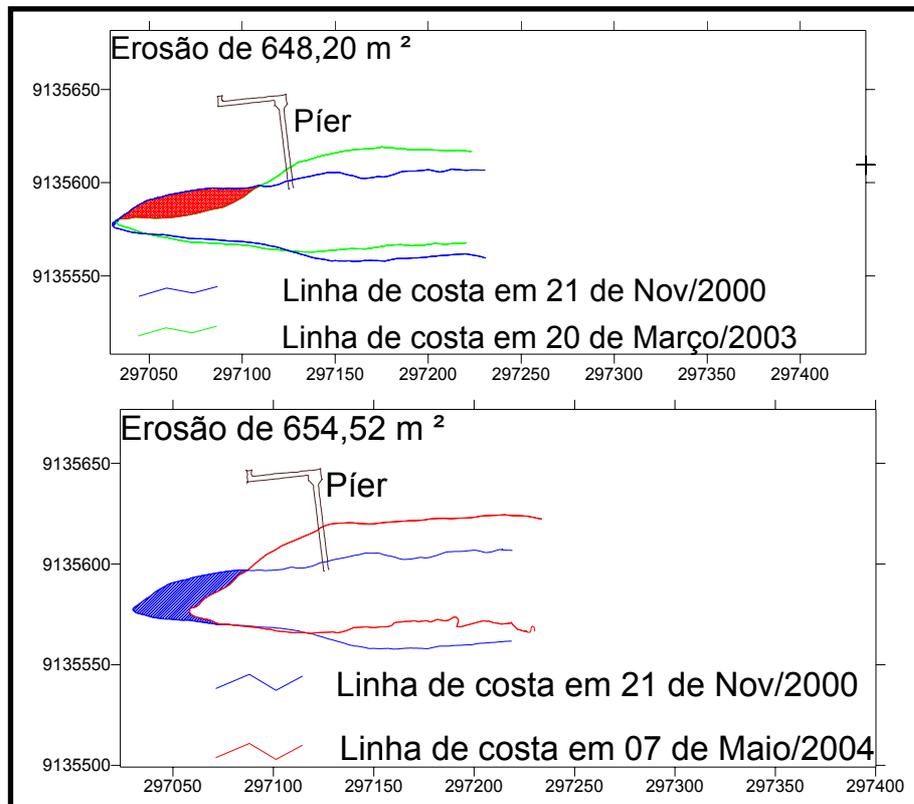


Figura 46. As áreas erodidas na ilha da Coroa do Avião em 20 de março de 2003 e em 07 de maio de 2004

Antes de acrescentar mais informações, para analisar a alteração na tendência próxima ao píer, é necessário enfatizar que só foi identificada essa mudança porque o local foi medido e fotografado em março e abril de 2003. Se só fossem analisadas as medições de setembro de 2002 e maio de 2004 a informação de que uma parte da área foi erodida e em seguida recuperada não existiria.

A área do píer será analisada considerando as informações de três bancos de dados: o inicial e o combinado com as medições de março de 2003 e maio de 2004. A figura 47 apresenta o resultado do cruzamento das informações.

O fato novo é que além da erosão na extremidade, parte dos sedimentos é deslocado para um local antes erodido, há um depósito junto a estrutura do píer. A diferença, no período estudado, entre a área com erosão e as com depósito de sedimentos é praticamente nula, de somente 25 m² a mais de erosão.

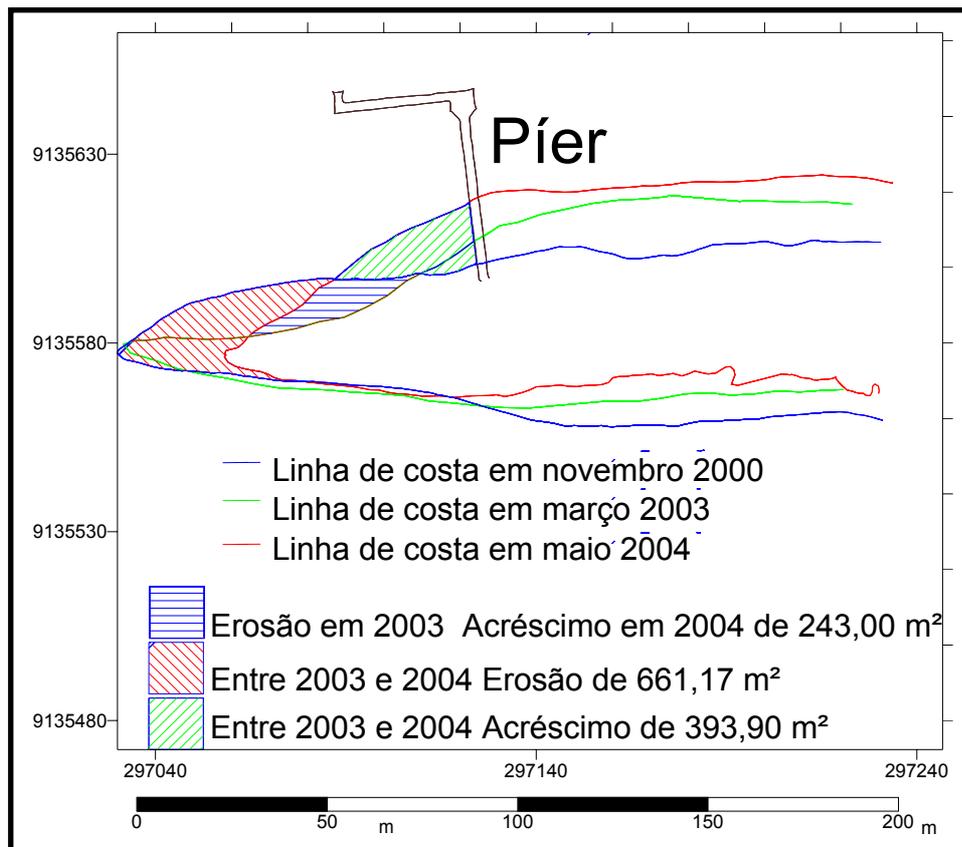


Figura 47. As combinações na área sob influência do píer das alterações referentes a novembro 2000, considerando março de 2003 e maio de 2004.

7.4.5.1. Análise Tridimensional junto ao Píer

O ambiente foi também analisado a partir de dois bancos de dados com informações tridimensionais. As medições ocorreram em abril de 2003 e maio de 2004 e foram realizadas com topografia utilizando a Estação Total TC-500 Leica. As coordenadas planimétricas estão no mesmo sistema do GPS e a altitude considera a tábua das marés em uma referência de nível, um RN, fixo na estrutura da construção. Na figura 48 encontra-se a representação de relevo do local nos dois períodos com curvas de nível.

A informação tridimensional confirma a análise anterior. Observa-se que a isolinha, a curva de nível de 2,5m, avança em direção ao píer enquanto recua na extremidade. Determinou-se, ainda, no programa Surfer 7.0, os volumes das áreas sempre secas, consideradas acima 2,5m. Para a medição de abril de 2003 o volume é de 1912,72 m³ e em maio de 2004 é de 1905,10 m³.

A diferença menor que 1% entre os volumes indica que no ambiente, entre o píer e a extremidade oeste, no intervalo entre abril de 2003 e maio de 2004, embora ocorra alteração na forma da linha de costa, (ver figura 48), o volume de sedimentos acima da linha de costa permanece

aproximadamente o mesmo. Ou seja, pode-se afirmar que entre abril de 2003 e maio de 2004 os sedimentos erodidos da extremidade oeste foram deslocados para o local próximo ao píer. A informação tridimensional confirma as alterações causadas com a fixação do píer e a fase atual indica um princípio de aterro nas proximidades do ancoradouro.

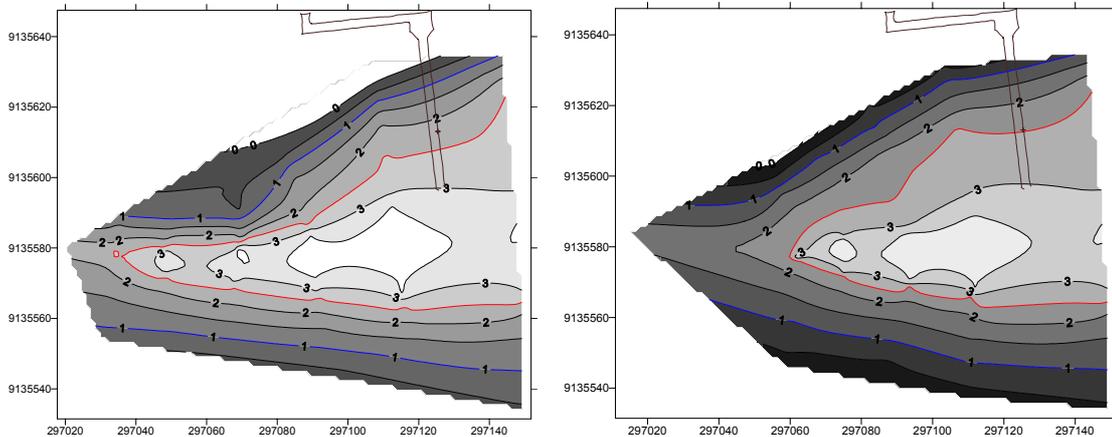


Figura 48. Levantamento tridimensional em abril de 2003 e maio 2004. A curva de nível em vermelho representa a maré máxima de 2,5 m e a em azul a de 1,0 m.

7.4.6. Monitoramento da Ilha da Coroa Ampliado para 16 anos.

A ilha foi registrada em muitas fotos panorâmicas, entretanto cartograficamente só é possível retroagir 16 anos, até março de 1988, quando fotos aéreas foram obtidas e transformadas em ortofotocartas na escala 1:10.000. A carta foi digitalizada e adequada para o sistema de referência atual, com a metodologia já descrita na sessão 6.3.3. Depois de digital foi associada com o último levantamento, em maio de 2004, ampliando o prazo de monitoramento para dezesseis anos.

A comparação entre as áreas (24.698 m^2 e 22.012 m^2) indica uma redução de 11%. A combinação entre as medições 1988 e 2004 encontra-se na figura 49, onde se identificam significativas alterações na morfológica da ilha.

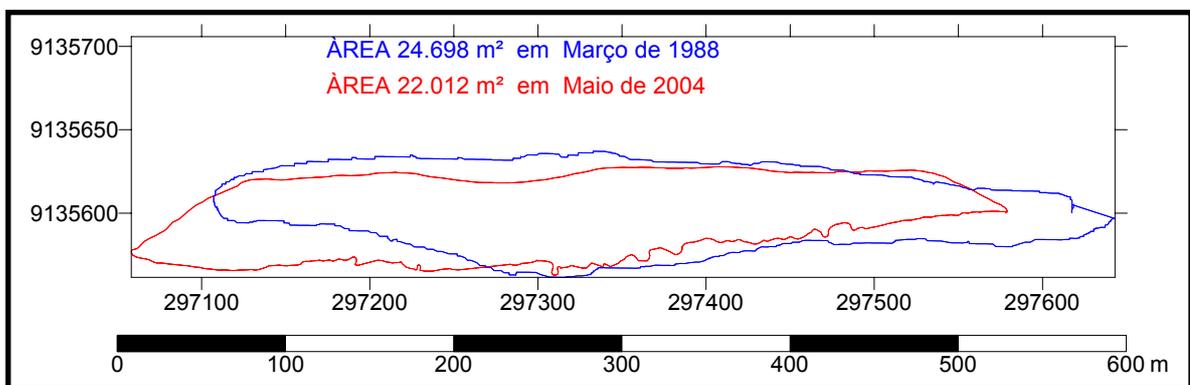


Figura 49. Variação da forma e da área da ilha da Coroa do Avião em 16 anos (1988-2004).

7.4.7. O Transporte Eólico e a Morfologia

Foram coletadas amostras de sedimentos em duas ocasiões e em locais diferentes. Em março de 2003 em três perfis (P1, P2 e P3) entre o píer e a extremidade, com coletas nas linhas de costa ao norte, ao sul e na parte central; em setembro do mesmo ano em mais três perfis sendo dois na parte central da ilha (P4 e P5) e o P6 no mesmo local do P2, totalizando dezoito amostras com a localização indicada na figura 50.

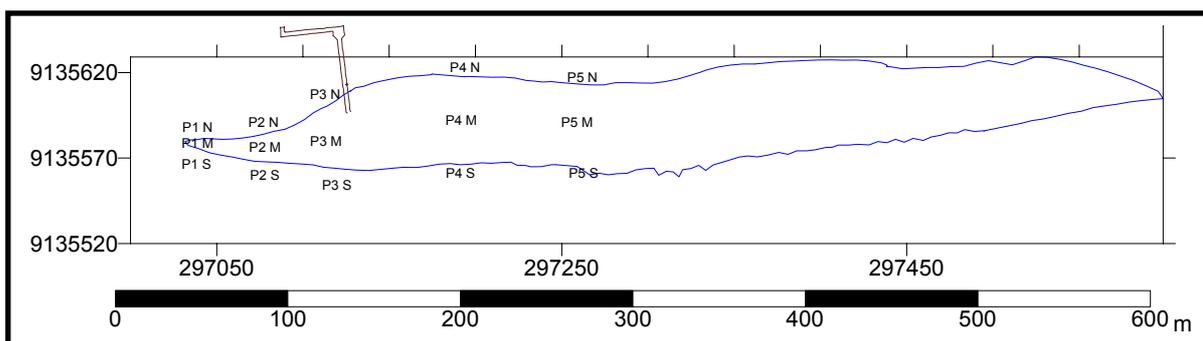


Figura 50. A posição dos pontos de coletas de sedimentos.

Os sedimentos foram analisados pelo método FOLK & WARD(1957), com os tamanhos dos grãos expressos em phi (Φ), onde phi é o logaritmo negativo de base dois do valor em milímetros($\Phi = -\log_2 \text{mm}$) e foram determinados os parâmetros estatísticos: diâmetro médio ou média, mediana, desvio padrão e assimetria.

7.4.7.1. Os Parâmetros Estatísticos Granulométricos

O diâmetro médio ou a média é um dos parâmetros mais importantes por caracterizar a classe mais frequente, SUGUIO (1973). Foi calculado pela média aritmética dos Φ_{16} , Φ_{50} , Φ_{86} e considerou-se a classificação de WENTWORTH (apud GREGÓRIO, 2004), com os intervalos: cascalho (menor que -1Φ), areia muito grossa (-1Φ a 0Φ), areia grossa (0Φ a 1Φ), areia média (1Φ a 2Φ), areia fina (2Φ a 3Φ), areia muito fina (3Φ a 4Φ).

O diâmetro médio só representa a distribuição média do tamanho das partículas, a dispersão em torno dessa tendência é representada com o desvio padrão. O método FOLK & WARD(1957) calcula o desvio padrão gráfico com a fórmula :

$$\text{Desvio padrão} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

A classificação considerando os valores determinados de desvio padrão varia de: muito bem selecionado para valores menores que 0,35; bem selecionado entre 0,35 a 0,50; moderadamente selecionado entre 0,50 a 1,00; pobremente selecionada entre 1,00 a 2,00; muito pobremente selecionado entre 2,00 a 4,00 e extremamente mal selecionado para valores maiores que 4,00.

As amostras podem ter o mesmo diâmetro médio e o mesmo desvio padrão e se dispersarem diferentemente com relação à média. O parâmetro que descreve essa diferenciação é assimetria. Quando o diâmetro médio e a mediana - que é igual ao Φ_{50} - estão próximos, a distribuição é simétrica, caso ocorra um acúmulo de sedimentos finos o diâmetro médio calculado é maior que a mediana e a assimetria é positiva. Os valores negativos indicam que as partículas finas foram retiradas e o parâmetro assimetria é determinado com a expressão:

$$\text{Assimetria} = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - \phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - \phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

A classificação da assimetria é: assimetria muito negativa entre -1,00 a -0,30; assimetria negativa entre -0,30 a -0,10; aproximadamente simétrica entre -0,10 e +0,10; assimetria positiva entre +0,10 a +0,30 e assimetria muito positiva entre +0,30 a +1,00.

7.4.7.2. A Análise Granulométrica

Os resultados de todas as amostras (ver tabela 6) indicam que em mais de 96% sua composição é de areia. Sendo em sua grande maioria areias finas, com uma única amostra na faixa das areias médias. Essa predominância já havia sido encontrada por PINTO (1998) que coletou sedimentos em doze posições, em volta de ilha, nos períodos seco e chuvoso. Considerando o desvio padrão e a assimetria, é possível concluir que são sedimentos uniformes, bem selecionados e aproximadamente simétricos.

Tabela 6. Resultado da análise no programa SYSGRAM de 18 coletas da coroa do avião.

Folk & Ward	Média	Class	Mediana	Seleção	Class.	Assimetria	Class.	% Areia
Abril P1 Norte	2,426	Areia fina	2,386	0,319	Muito bem selecionada	0,182	Positiva	99,43
Abril P1 Meio	2,13	Areia fina	2,153	0,417	Bem selecionado	-0,004	Aprox. simétrica	99,26
Abril P1 Sul	2,207	Areia fina	2,235	0,527	Mod. selecionada	-0,120	Negativa	98,95
Abril P2 Norte	2,447	Areia fina	2,415	0,390	Bem selecionado	0,061	Aprox. simétrica	97,46
Abril P2 Meio	2,4	Areia fina	2,362	0,374	Bem selecionado	0,049	Aprox. simétrica	99,51
Abril P2 Sul	2,412	Areia fina	2,373	0,354	Bem selecionado	0,085	Aprox. simétrica	99,32
Abril P3 Norte	2,443	Areia fina	2,414	0,387	Bem selecionado	0,015	Aprox. simétrica	98,5
Abril P3 Meio	2,357	Areia fina	2,315	0,386	Bem selecionado	0,057	Aprox. simétrica	98,49
Abril P3 Sul	2,428	Areia fina	2,387	0,327	Muito bem selecionada	0,173	Positiva	98,22
Set P4 Norte	2,361	Areia fina	2,318	0,346	Muito bem selecionada	0,108	Positiva	99,34
Set P4 Meio	2,362	Areia fina	2,32	0,383	Bem selecionado	0,060	Aprox. simétrica	99,28
Set P4 Sul	2,175	Areia fina	2,211	0,450	Bem selecionado	-0,117	Negativa	99,47
Set P5 Norte	2,179	Areia fina	2,217	0,541	Mod. selecionada	-0,155	Negativa	98,97
Set P5 Meio	2,371	Areia fina	2,335	0,406	Bem selecionado	0,003	Aprox. simétrica	99,59
Set P5 Sul	1,907	Areia média	1,943	0,690	Mod. selecionada	-0,088	Aprox. simétrica	97,83
Set P6 Norte	2,371	Areia fina	2,325	0,351	Bem selecionado	0,122	Positiva	99,11
Set P6 Meio	2,399	Areia fina	2,354	0,391	Bem selecionado	0,073	Aprox. simétrica	96,79
Set P6 Sul	2,418	Areia fina	2,374	0,354	Bem selecionado	0,115	Positiva	99,54

7.4.7.3. As Equações de Bagnold

Os ventos além da formação das ondas e das correntes litorâneas são responsáveis pelo transporte de sedimentos. Na área segundo RATISBONA (1976 apud MEDEIROS, 1991) os ventos predominantes são da direção SE (sudeste) variando para E (este) nas proximidades do fim-do-ano, podendo chegar até NE (nordeste).

A característica já identificada em PEREIRA(1998) de que as maiores intensidades ocorrem entre os meses chuvosos e o fim-do-ano foi confirmada nos dados mais recentes de direção e velocidade média do vento nos anos de 2001, 2002, 2003 e 2004, da estação de Goiana (ver tabela 8).

Para analisar o efeito do tamanho dos grãos de areia no transporte eólico determinou-se a velocidade limiar de cisalhamento (u_t^*) e a velocidade mínima do vento para manter a areia em saltação ($U_{(10)}$), na altura de 10 metros. As duas velocidades serão calculadas com as comprovadas equações empíricas de BAGNOLD (1941 apud VINTEM et al. 2003).

$$(u_t^*) = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} g d}$$

Sendo : (u_t^*) velocidade limiar de cisalhamento

ρ_s densidade da partícula de $2,65 \text{ gcm}^{-3}$ para grãos de quartzo

ρ_a densidade do ar de $1,22 \times 10^{-3} \text{ gcm}^{-3}$

g aceleração da gravidade 980 cm^{-2}

d diâmetro médio da partícula em cm

A coeficiente empírico de turbulência indicado para 0,1 por Bagnold.

$$(U_{(10)}) = 5,75(u_t^*) \log \frac{z}{z_0} + u'$$

onde: $U_{(10)}$ velocidade horizontal do vento a 10m

(u_t^*) velocidade limiar de cisalhamento

z altura que é medida a velocidade do vento(10m)

z_0 fator de rugosidade determinado por (BELLY, 1964 apud VINTEM et al. 2003)
como $z_0 = 10 d(\text{mm})$

u' velocidade de cisalhamento igual a $8,94 \times d(\text{mm})$

O valor médio do grão de areia das amostras foi transformado de ϕ (Φ) para mm, com as tabelas de PAGE(1959), e na tabela 7 estão os valores calculados das velocidades limiar de cisalhamento (u_t^*) e a velocidades mínima do vento para manter a areia em saltação ($U_{(10)}$), na altura de 10 metros.

Tabela 7. Velocidades limiar de cisalhamento e mínima do vento para manter o grão em saltação em todas as amostras coletadas.

Amostra Data e local	Tamanho médio do grão em ϕ (Φ)	Tamanho médio do grão em mm	(u_t^*) velocidade limiar de cisalhamento (ms^{-1})	($U_{(10)}$) velocidade mínima do vento para manter saltàção a 10m (ms^{-1})
Abril P1 Norte	2,426	0,187	0,199	5,948
Abril P1 Meio	2,130	0,229	0,220	6,667
Abril P1 Sul	2,207	0,218	0,215	6,483
Abril P2 Norte	2,447	0,184	0,198	5,895
Abril P2 Meio	2,400	0,190	0,201	6,001
Abril P2 Sul	2,412	0,188	0,200	5,965
Abril P3 Norte	2,443	0,184	0,198	5,895
Abril P3 Meio	2,357	0,193	0,203	6,054
Abril P3 Sul	2,428	0,187	0,199	5,948
Set P4 Norte	2,361	0,195	0,204	6,089
Set P4 Meio	2,362	0,195	0,204	6,089
Set P4 Sul	2,175	0,222	0,217	6,551
Set P5 Norte	2,179	0,222	0,217	6,551
Set P5 Meio	2,371	0,193	0,203	6,054
Set P5 Sul	1,907	0,268	0,239	7,300
Set P6 Norte	2,371	0,193	0,203	6,054
Set P6 Meio	2,399	0,191	0,201	6,018
Set P6 Sul	2,418	0,188	0,200	5,965

As equações de Bagnold determinaram que para as areias finas (0,25 e 0,125mm), a faixa de variação da velocidade do vento para manter o grão em saltação a 10m ($U_{(10)}$) encontra-se entre $4,77m s^{-2}$ a $7,01 m s^{-2}$.

Considerando as propriedades dos sedimentos analisados, os valores médios mensais de velocidade e direção do vento, da estação do LAMEPE de Goiana(ver da tabela 8) e os resultados das equações de Bagnold é possível afirmar que ocorre na ilha da Coroa do Avião o transporte eólico dos grãos de areia fina .

Análise morfoscópica conduzida em alíquotas de 100 grãos de quartzo para investigar o grau de arredondamento e de esfericidade dos sedimentos superficiais da ilha Coroa do Avião, segundo a tabela de KRUMBEIM & SLOSS (POWERS, 1953 apud SCHOLLER 1979), revelaram uma área de moderada a alta energia, com 11% dos grãos apresentando morfologia angular, 67% subangular e 22% subarredondada, corroborando a importância do transporte eólico na área.

Tabela 8. Velocidade média (V_{med}) e direção média (Dir_{med}) do vento mensal entre os anos 2001 e 2004. Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE – ITEP

Mês	2004		2003		2002		2001	
	V_{med} ($m.s^{-1}$)	Dir_{med} (Graus)						
Janeiro	s.i	s.i	3,7	101	4,8	128	6,7	137
Fevereiro	s.i	s.i	5,6	147	5,3	141	6,2	127
Março	s.i	s.i	4,5	150	5,0	154	5,0	131
Abril	4,7	155	4,5	157	5,0	167	5,0	167
Maió	3,4	169	3,8	160	4,6	169	4,4	144
Junho	3,6	177	4,5	179	4,4	178	4,1	177
Julho	4,1	179	5,3	175	5,0	169	4,9	172
Agosto	4,9	168	5,2	165	5,6	165	5,4	173
Setembro	s.i	s.i	6,2	154	5,6	166	5,7	150
Outubro	s.i	s.i	7,0	141	6,9	136	5,8	126
Novembro	s.i	s.i	6,8	121	6,6	124	6,7	112
Dezembro	s.i	s.i	s.i	s.i	5,7	107	7,9	123
V_{med} anual ($m.s^{-1}$)	4,1		5,2		5,4		5,7	

s.i. Sem informação

7.4.8. A Ilha em três Dimensões

Objetivando analisar o comportamento migratório da área emersa da ilha da Coroa do Avião foi realizado em maio de 2004 um levantamento tridimensional completo.

As medições foram realizadas com a Estação Total TC-500, fabricado pela Leica, e utilizou-se a metodologia do nivelamento trigonométrico. Determinaram-se as diferenças de nível entre pontos a partir do conhecimento da altura do instrumento, da altura do prisma e do ângulo vertical medido entre eles.

A referência altimétrica considerou o valor da maré fornecido nas tábuas da DHN transportado para um ponto na estrutura da construção junto ao pier. As estações iniciais foram também determinadas com GPS geodésico obtendo-se assim um banco de dados com as coordenadas tridimensionais no mesmo sistema de medição da linha de costa. As variações do relevo foram determinadas com a medição de seções intercaladas entre os locais representativos da morfologia. Na figura 51 apresenta-se a posição dos pontos medidos.

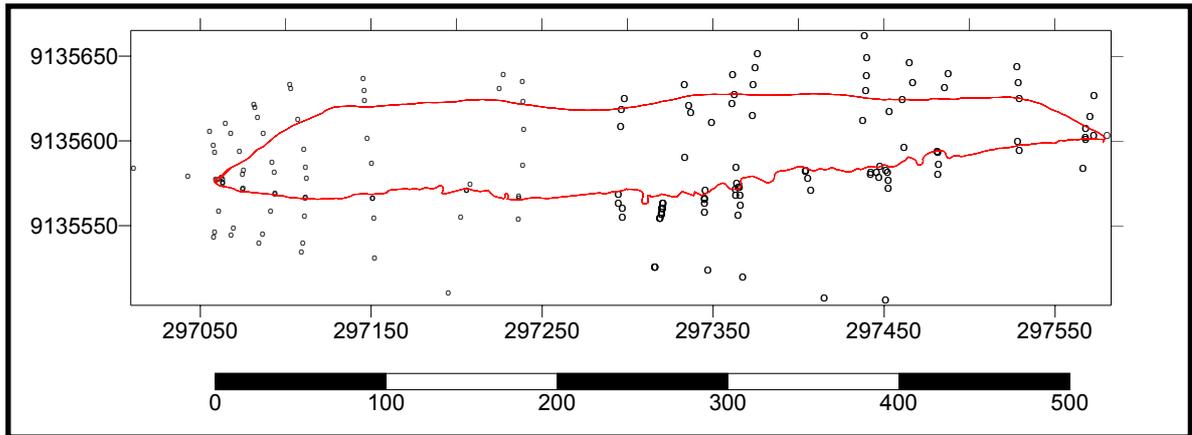


Figura 51. A posição dos pontos altimétricos medidos e a linha de costa em maio de 2004.

O banco de dados com a informação tridimensional foi processado no módulo Desk Land do programa AutoCad e a partir de uma interpolação linear entre os pontos próximos foram adicionados novos pontos e construída uma superfície. A figura 52 mostra a rede formada para interpolar a superfície.

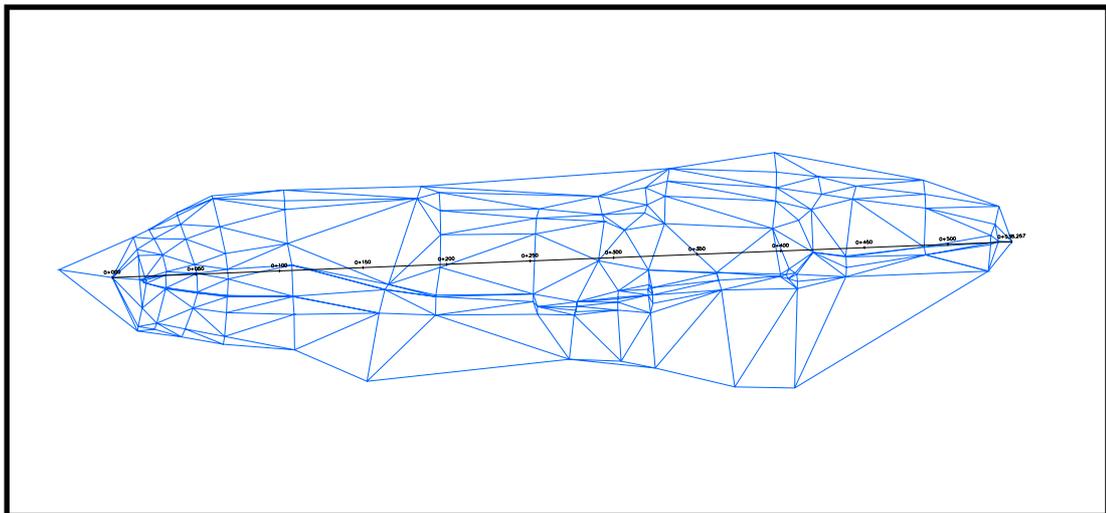


Figura 52. Pontos da rede de triangulação da interpolação linear de pontos para formar uma superfície.

Seções transversais foram traçadas ortogonalmente ao perfil central no sentido longitudinal da ilha de oeste para leste. Na figura 53 o perfil central e a figura 54 as seções transversais, em número de 12, espaçadas de 50 em 50 m. Além do perfil e das seções foi preparado um modelo digital do terreno que permite observar a ilha da Coroa do Avião a partir do Canal de Santa Cruz ou do banco de areia, respectivamente as figuras 55 e 56.

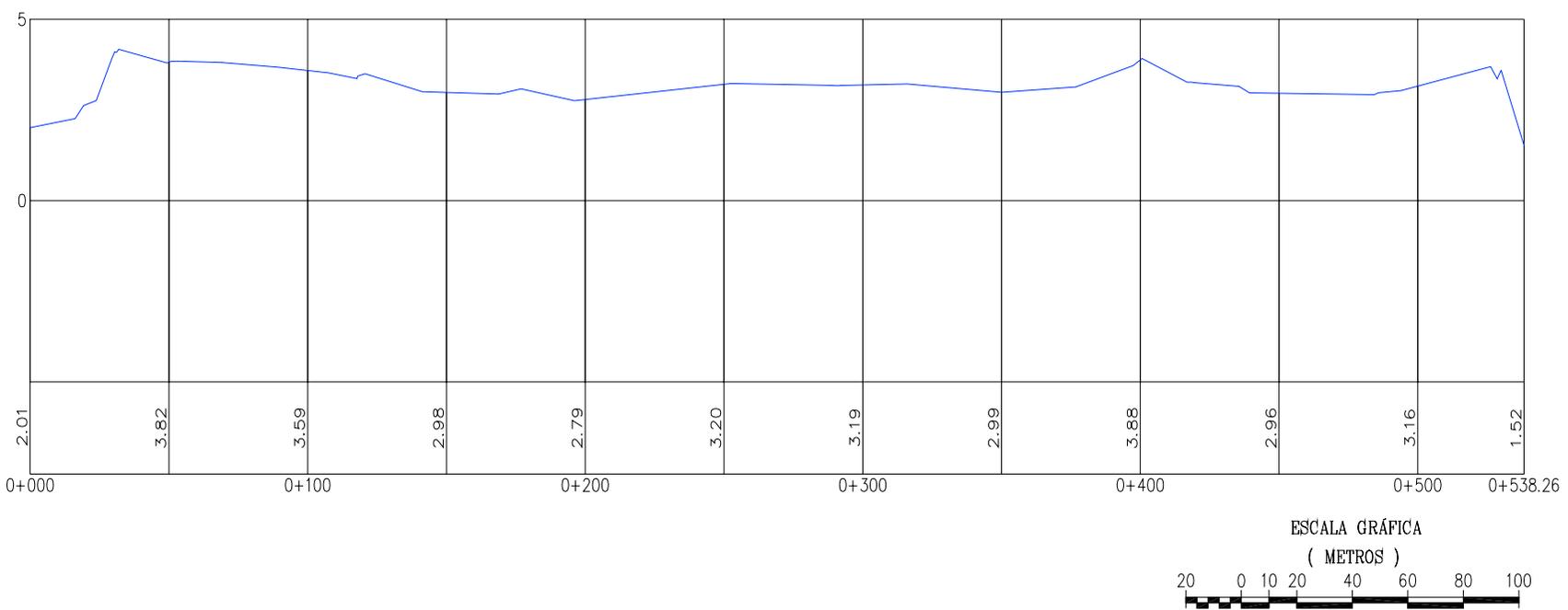


Figura 53. Perfil no sentido de oeste para leste no centro da ilha da Coroa do Avião.

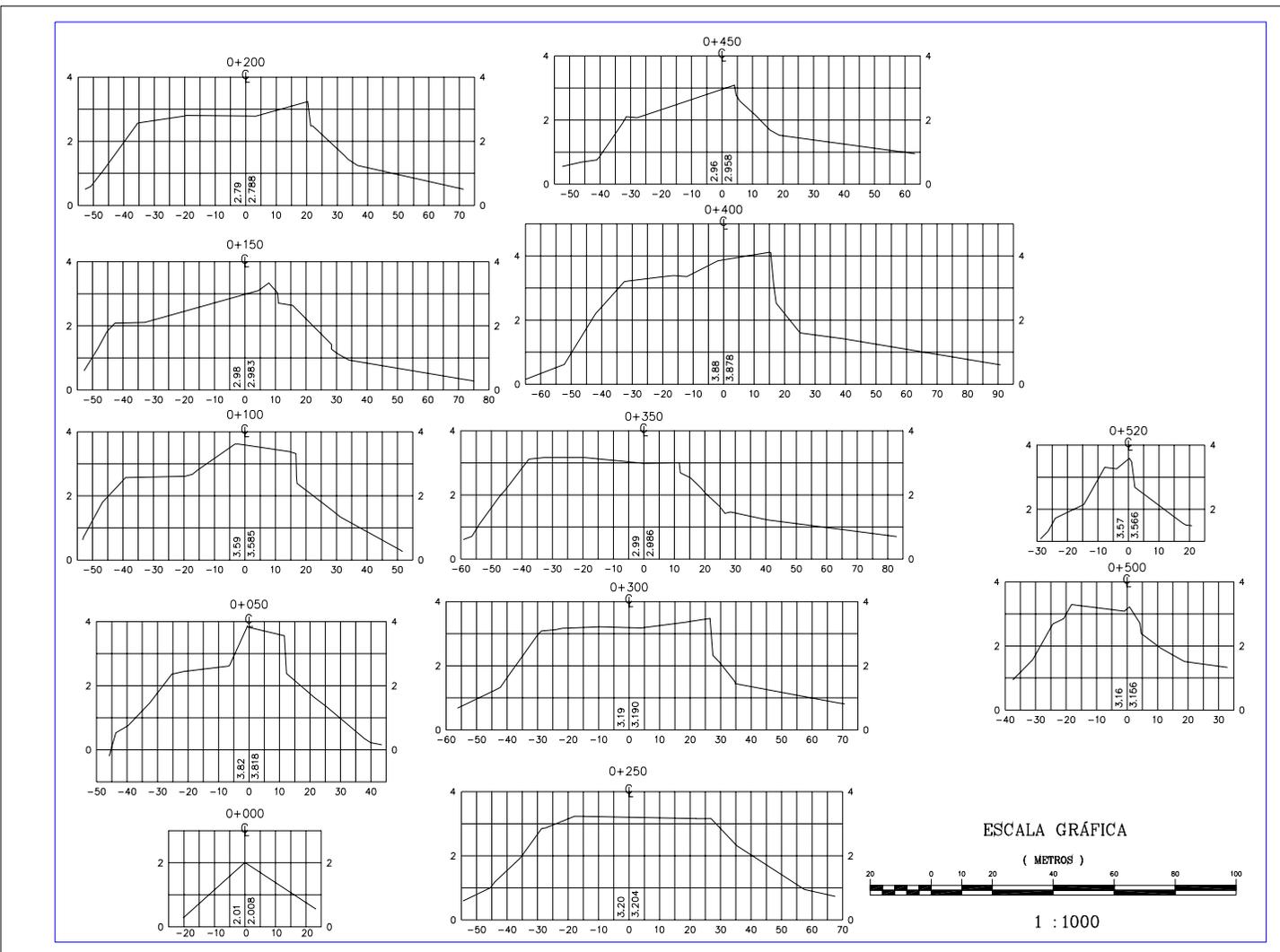


Figura 54. As doze seções transversais ao perfil central, espaçadas de 50 em 50m, a partir da Extremidade oeste. O lado esquerdo da seção corresponde ao lado sul, o lado do Canal de Santa Cruz.

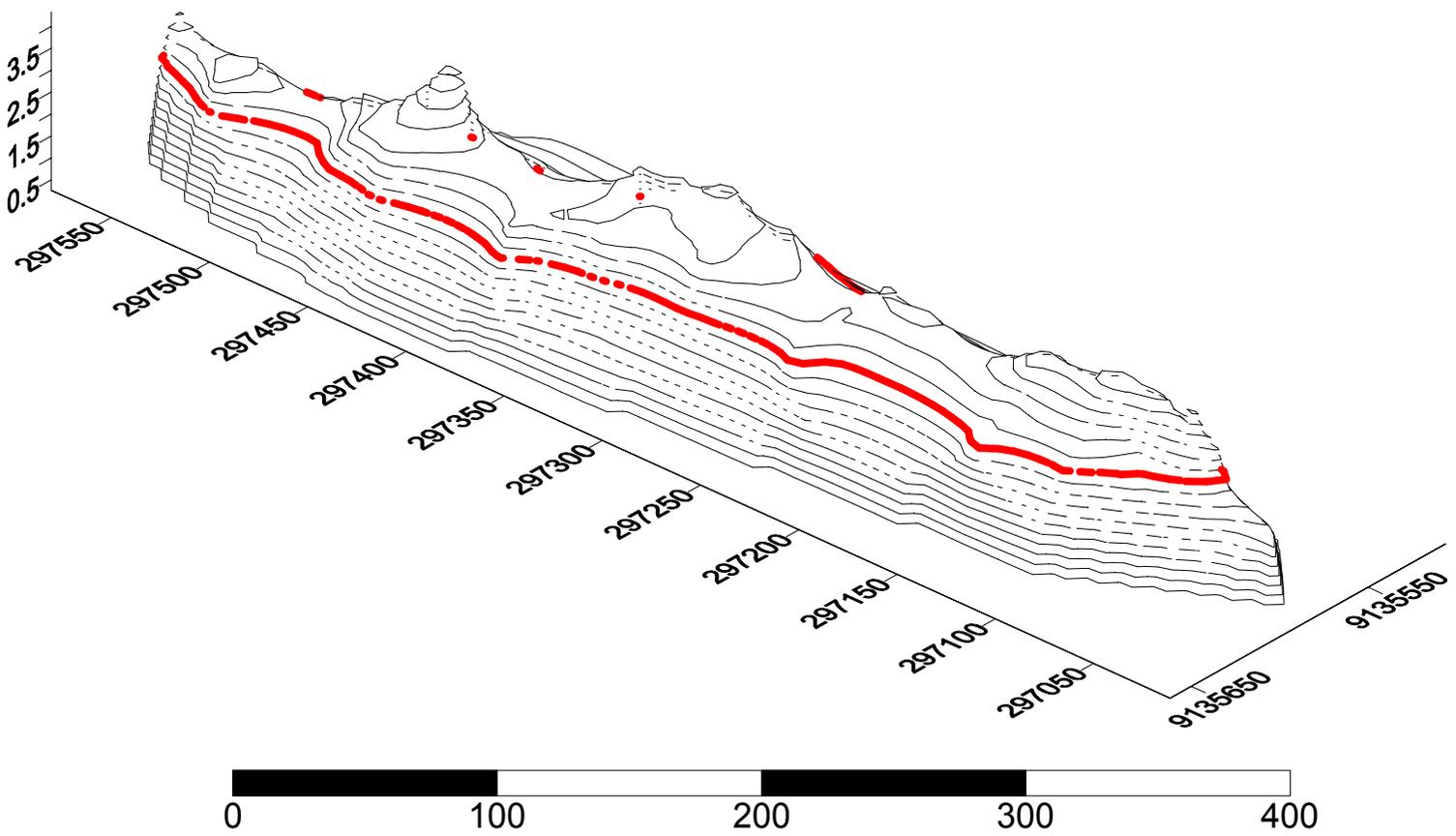


Figura 55. Modelo tridimensional da ilha da Coroa do Avião observada do norte para o sul, a partir do Canal de Santa Cruz. A marca vermelha representa a maré 2,5 m.

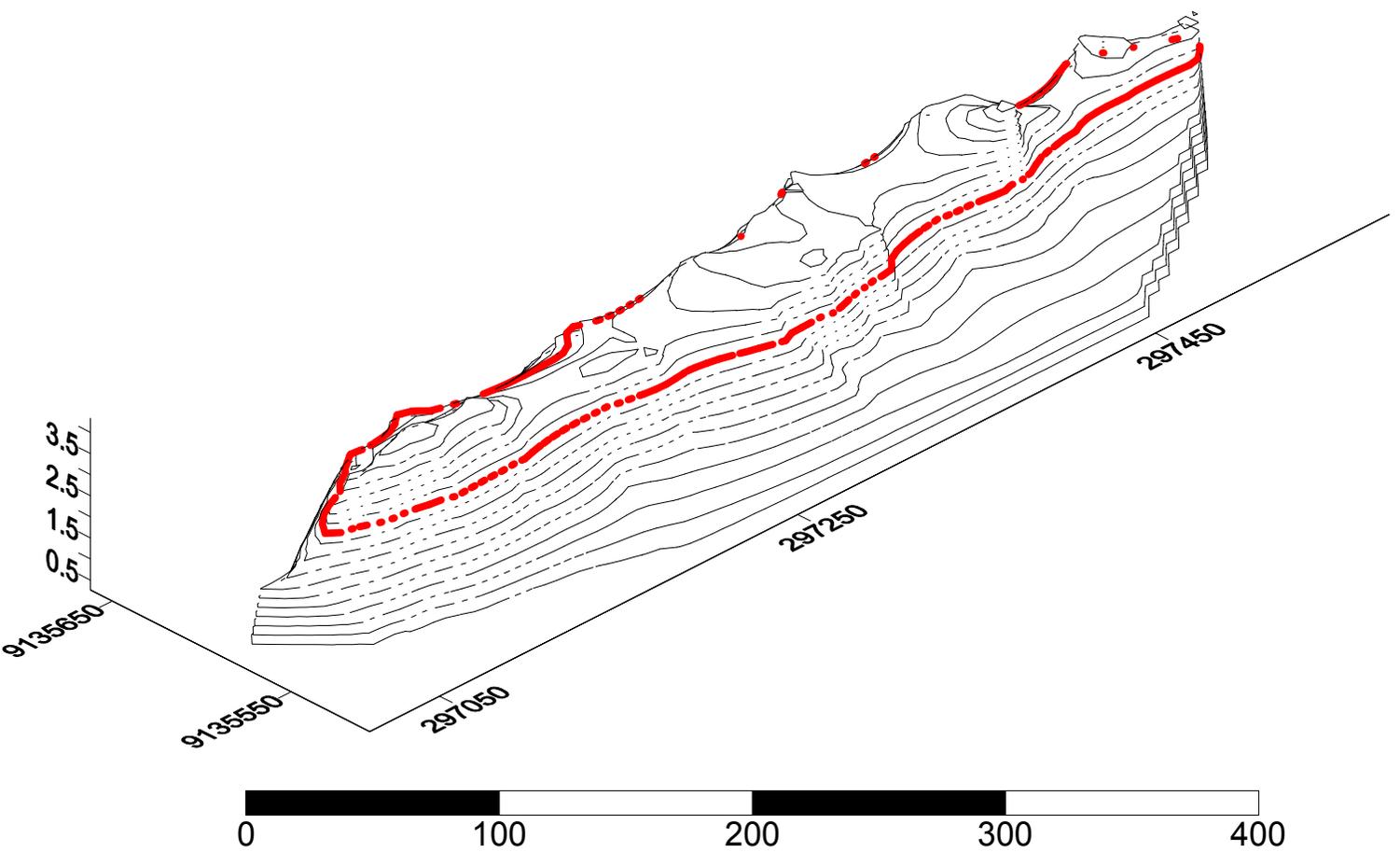


Figura 56. Modelo tridimensional da ilha da Coroa do Avião observada do sul para o norte, a partir do banco de areia para a ilha. A marca vermelha representa a maré 2.5 m.

7.4.9. Diagnóstico e Visualização de Tendências para a Ilha da Coroa do Avião

As tendências e quadro diagnóstico ora apresentado para a área emersa da ilha Coroa do Avião, foram compostos considerando-se o conhecimento da posição de sua linha de costa em março de 1988 (vide sessão 7.4.6.), o conjunto das informações planimétricas geradas pelo monitoramento da linha de costa realizado ao longo de 42 meses (nov/2000 a maio/2004), o levantamento tridimensional da Coroa, que permitiu quantificar seu volume e caracterizar suas faces da ilha, aliados a dados sobre sua cobertura sedimentar e da direção e velocidade dos ventos predominantes na região, e informações disponíveis sobre a hidrodinâmica local.

A ilha Coroa do Avião, situa-se no ambiente denominado por KEMPF (1970) de “mar de dentro” isolado por uma linha de recifes do ambiente marinho mais profundo. A direção sudeste dos ventos predominantes na região induz, ao longo da costa, uma deriva litorânea e o carreamento de sedimentos de sul para norte. A presença da desembocadura sul do canal de Santa Cruz, produz o “efeito de molhe” (KOMAR, 1973), causando uma descontinuidade neste transporte, dificultando ou quase impedindo a passagem do material até a costa da ilha de Itamaracá. A combinação da deriva litorânea e as restrições para que os sedimentos migrem para plataforma ou sejam transferidos mais para norte, geraram uma área propícia à deposição de sedimentos a partir da foz do rio Timbó, e que deu origem a um banco de areia, denominado de banco do Ramalho, já visível em fotografia tomada em dezembro de 1969 (Figura 15 e 17).

A ilha Coroa do Avião está localizada no limite norte do Banco do Ramalho junto ao fluxo principal do braço sul do canal de Santa Cruz. Segundo MARTINS (1997), alguma vegetação fixou-se na porção mais alta do banco arenoso e possibilitou uma maior retenção dos sedimentos, que por sua vez permitiu a expansão da vegetação. A Coroa do Avião teria resultado desse processo ciclo da areia retendo vegetação e da vegetação retendo areia, culminado por consolidar uma área permanentemente emersa, uma ilha. Deve-se considerar, também, a influencia sofrida no entorno da desembocadura do canal de Santa Cruz, devido ao aterro próximo ao atual hotel da Gavia, quantificado no presente trabalho em 66,50 ha (ver sessão 6.4.1.1. e fig. 22). Durante o levantamento tridimensional da Coroa do Avião, verificou-se que sua porção mais elevada está situada ao longo de sua face sul, (Fig. 54) indicando ser esta a face alimentada com os sedimentos oriundos da deriva litorânea, cujo transporte mais a norte é interrompido ou dificultado pelo fluxo do canal de Santa Cruz.

Considerando a porção emersa da ilha Coroa do Avião, verificou-se que em 1988, a mesma ocupava uma área de 24.698 m² enquanto que em 2004, sua área correspondia a 22.012 m², ou seja uma área cerca de 11% menor. Considerando os resultados dos 42 meses de monitoramento entre 2000 e 2004 no entanto, verifica-se que a variação de área da porção emersa da ilha Coroa do Avião, foi pequena, passando de 21.489,9 m² para 22.012,4 m², ou seja um acréscimo de 2,2 % em área. Assim as tendências mais recentes, acenam para um quadro relativamente estável ou com uma

ligeira tendência de acreção. Por outro lado, os levantamentos realizados, indicam que a Coroa do avião encontra-se em uma região sujeita a um regime pluviométrico com alternância de períodos chuvoso e de estiagem, e que por ser formada por sedimentos finos e não-consolidados, migra sobre o próprio banco arenoso em função da ação combinada das ondas e dos ventos.

Ao atingirem a Coroa, as ondas desagregam os sedimentos da vegetação ao longo de sua face sul, causando erosão de sua margem e permitindo o transporte eólico de parte desse material, da face sul à face norte, uma vez que o maior percentual do mesmo corresponde à fração areia fina. Vale salientar que a ação dos visitantes e barraqueiros que removem a vegetação rasteira para fixação de barracas de praia e instalação de pequenos negócios (vendas de bebidas, alimentos, etc.), contribuem grandemente para desestabilizar a Coroa e intensificar o processo erosivo e o transporte eólico.

A forte erosão observada em decorrência da fixação de um pequeno píer no extremo oeste da Coroa, indica que o estado de aparente equilíbrio do sistema é extremamente frágil. Assim, qualquer intervenção na área deveria ser precedida de uma análise profunda e cuidadosa sob pena de vir a comprometer esse ambiente de rara beleza, de grande importância do ponto de vista ecológico e com um alto potencial econômico.

8. ACURÁCIA E PRECISÃO DO MÉTODO

Sempre que utilizamos um processo de medida ou de cálculo, é importante saber com que qualidade ou dentro de que limites, este método refletirá o que queremos medir ou calcular. Embora termos como acurácia, acuidade, precisão e exatidão, sejam muitas vezes empregados como sinônimos no linguajar do dia-a-dia, para este fim, a rigor, os mesmos têm significados distintos.

O termo acurácia refere-se ao grau de conformidade que uma medida ou resultado de um cálculo de uma quantidade guarda do valor real desta quantidade. Em outras palavras, acurácia e acuidade, expressam o grau de proximidade de uma medição ou cálculo do seu valor verdadeiro (WOLF, 1996). Embora, teoricamente, o valor verdadeiro de uma grandeza medida nunca possa ser determinado, e sempre haja a possibilidade de se obter uma medição de maior acurácia, para fins práticos, porém, se aceita determinar a acurácia de uma medida, a partir da comparação da mesma com um valor padrão estabelecido. Já o conceito de precisão está associado à dispersão das determinações, e o termo precisão deve ser utilizado para caracterizar o grau de consistência entre repetidas medidas, valores ou resultados e é baseada nas discrepâncias do conjunto (WOLF, 1996).

A distinção e significado desses dois termos pode ser mais facilmente visualizada considerando o exemplo abaixo, que ilustra 4 grupos de 7 disparos contra um alvo (Fig. 57).

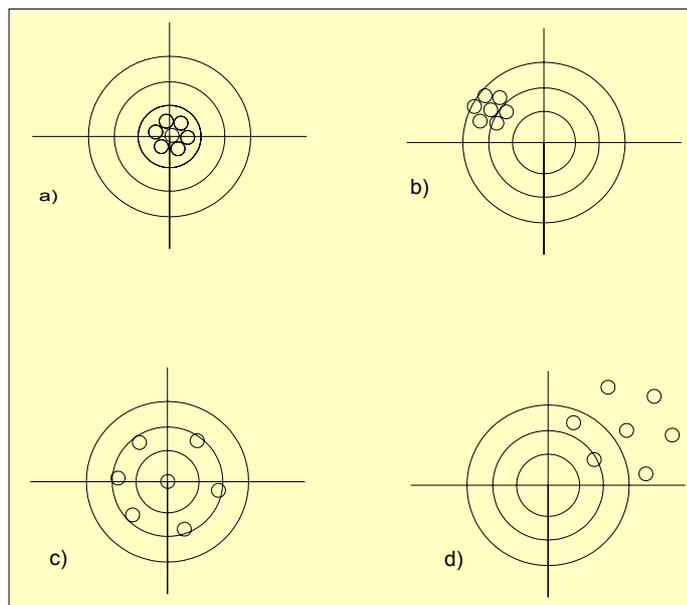


Figura 57. Grupos de 7 disparos efetuados contra um alvo.

Nos casos a e b, podemos dizer que os disparos guardam boa precisão, pois em ambos, os tiros foram grupados, ou seja, muito próximos uns dos outros. Ainda que no caso b, os tiros não tenham atingido o centro do alvo, a precisão dos tiros do atirador b é tão boa quanto a do atirador a, já que a precisão diz respeito apenas a repetibilidade dos valores. Nos casos c e d, a precisão é baixa, pois os tiros mostram-se dispersos, isto é, afastados entre si. Novamente não importa quão próximos os mesmos estejam ou não estejam do centro do alvo. Em termos de acurácia, o melhor resultado foi obtido pelo atirador a, já que seus tiros aproximaram bem o centro do alvo.

No exemplo anterior, vemos ainda que é possível ter-se uma série de medidas precisas - determinações sucessivas de uma quantidade podem formar uma amostra com valores próximos - sem que ela seja acurada ou exata. Essas medições podem ser afetadas por um erro sistemático, como a falta de calibração de um equipamento, que leve o seu valor médio a um afastamento do valor real. Esta situação fica bem exemplificada pelos tiros do atirador b.

A acurácia é um termo absoluto, e no nosso exemplo indicaria a proximidade dos tiros do centro do alvo. Assim, os tiros disparados pelo atirador a e c seriam os mais acurados. Em uma análise mais profunda, verificamos que é possível ter boa precisão sem acurácia, mas que o grau de acurácia, guarda alguma dependência do grau de precisão. Em outras palavras, não se pode ter uma medida muito acurada se o grau de precisão for muito baixo.

Idealmente, queremos que nossas metodologias e equipamentos gerem medidas e cálculos que apresentem ambas, precisão e acurácia, com medições e valores semelhantes e próximos do valor real. A curva abaixo (Fig. 58), representa uma função densidade de probabilidade de um processo de medição de uma grandeza. Estatisticamente, a acurácia refere-se ao desvio ou diferença entre o valor medido e o valor padrão, aqui exemplificado pela diferença entre o valor médio real (μ) e a média estimada (\bar{x}). A precisão das medidas é representada pela forma da curva. Quanto mais esbelta (menor valor do desvio padrão), mais precisas são as medidas.

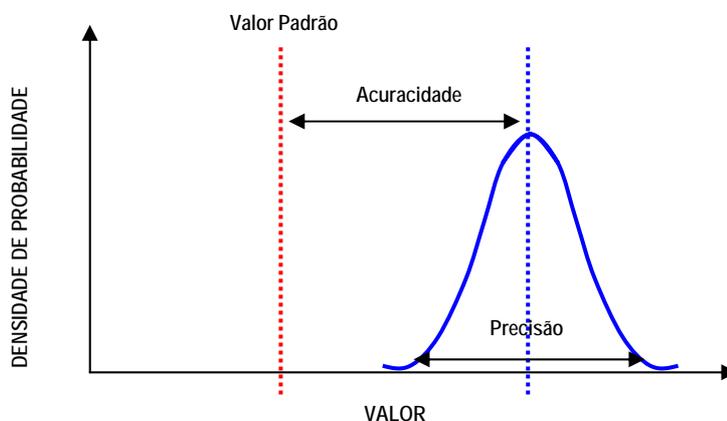


Figura 58. Curva de densidade de probabilidade de um processo de medição

Visando determinar o grau de acurácia e precisão da metodologia proposta para levantamento da linha de costa com receptores GPS, foram realizadas duas baterias de testes. Na primeira bateria, utilizou-se um campo de teste com uma indicação inequívoca do local a ser medido e na segunda bateria, uma situação real, com medição de um trecho da linha de costa ao longo da praia da Boa Viagem. Em ambos os casos, foram empregados mais de um operador para medir a mesma feição.

Na primeira bateria de testes, objetivou-se determinar a precisão da metodologia independente dos problemas de identificação da feição a ser medida. Esses experimentos foram realizados no Campus da UFPE, quando uma linha reta de 80m de extensão foi medida, duas vezes, por três operadores diferentes, em dois sentidos distintos (ida e volta).

Para efeitos práticos a nossa reta real (reta padrão de referência), foi definida a partir da determinação de seus pontos inicial e final. Estes foram determinados pelo método do posicionamento relativo estático (vide sessão 3.4.4.2.), obtendo-se simultaneamente para cada ponto um registro de suas coordenadas com um GPS geodésico com leituras a intervalos de 5 segundos. Os resultados obtidos foram pós-processados em conjunto com os dados do ponto fixo da UFPE da RBMC. Este método é o procedimento de levantamento com receptores de GPS mais confiável e as coordenadas finais têm uma precisão milimétrica, com relação ao ponto fixo. Assim, podem-se considerar as coordenadas dos pontos extremos da reta como fixos (a sua precisão é de até 100 vezes maior que precisão estimada para o levantamento das linha empregando o método cinemático, que SEEBER (1993) e KRUEGER (1996) estimam como decimétrico) e empregá-las na definição da reta padrão a ser utilizada na avaliação da acurácia e precisão da metodologia para determinação da linha de costa.

Na Tabela 9 são apresentados os desvios pontuais mínimos, máximos e médios relativos a posição da reta padrão para o caminhamento dos 3 operadores e na figura 59, o plot total e em detalhes desses caminhamentos.

Tabela 9. As medições por operador, com valores dos desvios mínimos, máximos e médios relativos à reta padrão e desvio padrão dessas medições.

OPERADOR	REPETIÇÃO	PONTOS MEDIDOS	MIN (m)	MAX. (m)	MÉDIO (m)	DESvio PADRÃO (m)
1	a	54	0,0016	0,1433	0,0410	0,0313
1	a	59	0,0024	0,0938	0,0391	0,0242
2	b	86	0,0002	0,2306	0,0454	0,0457
2	b	86	0,0003	0,2375	0,0820	0,0538
3	c	60	0,0007	0,0740	0,0284	0,0202
3	c	70	0,0021	0,0984	0,0294	0,0221

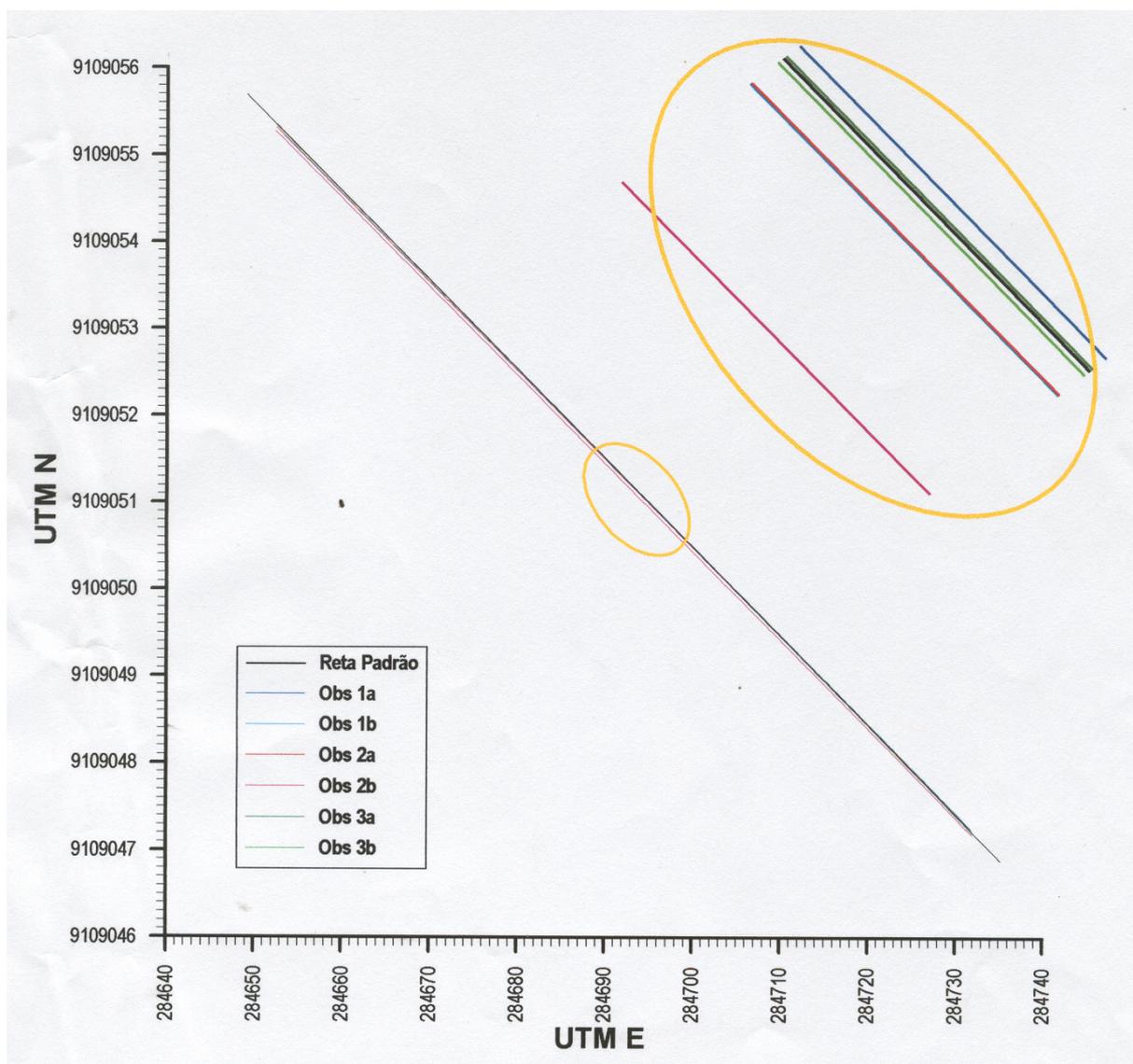


Figura 59. Reta padrão e retas obtidas por (3) três observadores distintos

Considerando os resultados obtidos para os três distintos operadores e suas repetições, isoladamente ou em conjunto, verifica-se que a acurácia das medições de uma feição perfeitamente definida, utilizando receptores GPS geodésicos, com a metodologia descrita em 3.4.4.3. variou pontualmente de 0,02 cm a 23,7 cm com uma acurácia média sempre inferior a 9 cm (valores médios de 2,8 cm a 8,2 cm e desvio padrão de 2,0 cm a 5,5 cm).

Vale salientar que independente da metodologia a acurácia de um levantamento dependerá também do número de satélites visíveis e da geometria formada por suas posições nas órbitas. Assim o grau de acurácia aqui estimado não deve ser tomado como absoluto, embora discrepâncias maiores que 10cm sejam improváveis de ocorrerem com a metodologia proposta.

De fato, os valores medidos estão muito próximos àqueles indicados por SEEBER (1993) e KRUEGER (1996) para a metodologia, os quais estimaram que os desvios em posicionamento seriam inferiores a 10 cm, podendo chegar a poucos centímetros em locais com um número maior de satélites, geometria favorável e em ausência de obstáculos para a recepção pela antena.

A precisão média do método foi de 1,7 cm, variando pontualmente de 0,4 a 3,6 cm entre os vários observadores, enquanto a acurácia média foi estimada em 0,5 cm (min.=0; max.=24cm). Considerando os resultados dos três operadores, verifica-se que os mesmos apresentaram distintos graus de precisão, em função de sua maior ou menor habilidade em manter a antena na vertical e seguir mais cuidadosamente a feição considerada. O operador 3, apresentando o menor grau de dispersão entre suas medidas (desvio médio de cerca de 2 mm entre repetições), com maior dispersão obtida pelo operador 2 (desvio médio entre repetições de cerca de 3,6 cm) (Fig. 58).

A segunda bateria de testes foi realizada no dia 08 de junho de 2004, ao longo de um trecho de 2000m da praia de Boa Viagem. A linha de costa neste trecho foi levantada de forma independente por dois operadores distintos, que identificavam a linha de costa pela marca média da água deixada na areia durante uma preamar. Para analisar as diferenças entre as duas medições foram traçadas, a cada 20m, seções na direção leste-oeste que interceptavam os dois levantamentos e foram medidas as distâncias entre a posição das duas linhas levantadas.

A Figura 60 apresenta a área do levantamento cortada com as 100(cem) seções e uma ampliação que permite visualizar as discrepâncias entre as duas medições. As medições, as 100 (cem) diferenças, encontram-se na Tabela 10, O cálculo do valor médio de 0,37m, com um desvio de 0,38m indica que considerando as cem diferenças medidas entre os dois levantamentos e calculando-se a média \pm desvio determina-se uma incerteza de 0,75m para o conjunto das medições da linha de costa na praia de Boa Viagem.

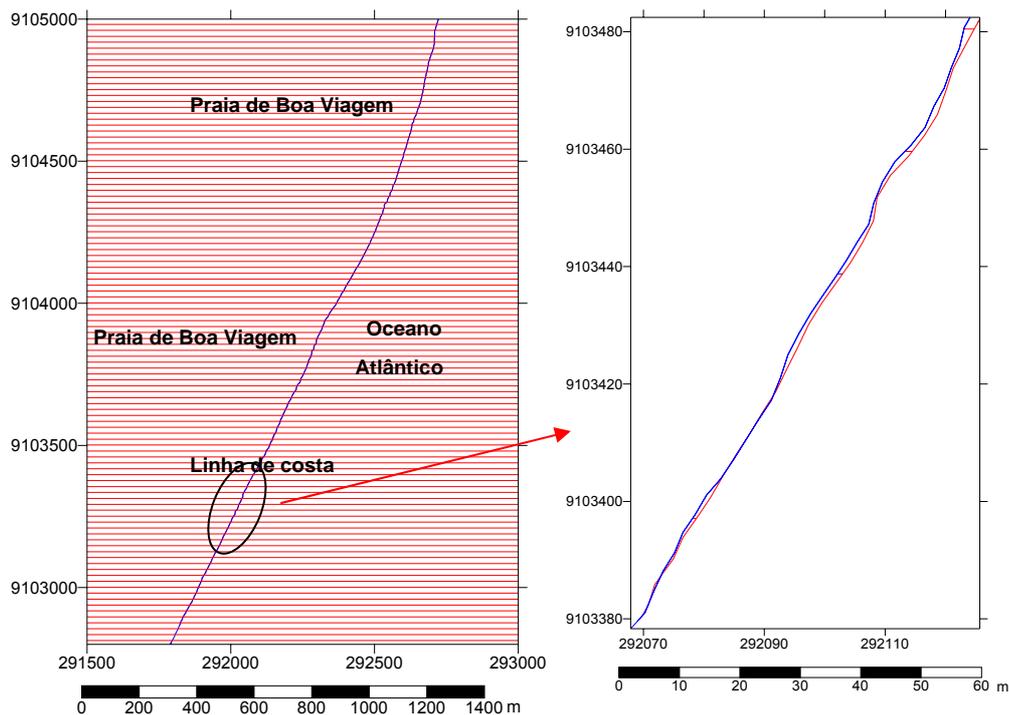


Figura 60. As seções transversais cortando as duas medições na praia de Boa Viagem e uma ampliação visualizando as duas linhas medidas.

Uma análise mais detalhada dos dados é apresentada na Tabela 11, com a subdivisão da distância total medida de 2000m em partes iguais de 200m(cada parte com dez seções) e com a determinação para cada intervalo do valor da média das distâncias entre as medições, do desvio padrão e da diferença máxima permite identificar diferentes etapas nas medições:

- Nos dois primeiros trechos, até 400m, as médias das distâncias entre as linhas são menores que 20cm;
- entre 400 e 1400m as médias das distâncias entre as linhas encontram-se na faixa entre 20 e 30cm e
- entre 1400 e 2000m as discrepâncias aumentam e os valores médios das distâncias entre as linhas passam para acima de 70cm, com as diferenças maiores excedendo o metro,

A análise, considerando trechos, das linhas medidas permite concluir que as diferenças entre as medições foram causadas principalmente pelas dificuldades de identificação da linha de costa. No início do trecho, próximo a praia do Pina, a marca da água na areia estava perfeitamente visível. À medida que se avançava na direção sul para a praia de Boa Viagem a marca da linha de costa perdia visibilidade e próximo ao final do trecho de 2000m, depois de uma hora de caminhada, o local já havia sido varrido e as diferenças de identificação pelos dois operadores tornaram-se maiores.

Tabela 10. Desvios médio e máximo e dispersão entre levantamentos da linha de costa em Boa Viagem por distintos operadores para intervalos de 200m.

TRECHO DA COSTA (m)	DESVIO MÉDIO ENTRE AS LINHAS (m)	DESVIO PADRÃO DO VALOR MÉDIO (m)	DESVIO MÁXIMO ENTRE AS LINHAS (m)
0-200	0,156	0,104	0,38
200-400	0,116	0,086	0,34
400-600	0,299	0,284	0,85
600-800	0,269	0,175	0,61
800-1000	0,221	0,111	0,50
1000-1200	0,304	0,284	0,83
1200-1400	0,301	0,257	0,95
1400-1600	0,761	0,532	1,69
1600-1800	0,785	0,394	1,50
1800-2000	0,512	0,366	0,99

Tabela 11. Desvios entre levantamentos da linha de costa em Boa Viagem por distintos operadores para intervalos de 20m.

SEÇÃO	COMPRIMENTO (m)	SEÇÃO	COMPRIMENTO (m)	SEÇÃO	COMPRIMENTO (m)	SEÇÃO	COMPRIMENTO (m)
1	0,15	26	0,54	51	0,40	76	1,34
2	0,15	27	0,64	52	0,43	77	1,17
3	0,23	28	0,03	53	0,11	78	1,69
4	0,18	29	0,45	54	0,82	79	1,19
5	0,01	30	0,02	55	0,83	80	0,82
6	0,09	31	0,02	56	0,09	81	0,16
7	0,08	32	0,31	57	0,13	82	0,64
8	0,38	33	0,35	58	0,06	83	0,94
9	0,21	34	0,18	59	0,17	84	0,43
10	0,08	35	0,21	60	0,14	85	1,5
11	0,16	36	0,16	61	0,41	86	0,93
12	0,05	37	0,61	62	0,53	87	0,69
13	0,15	38	0,44	63	0,95	88	1,37
14	0,003	39	0,34	64	0,31	89	0,49
15	0,09	40	0,32	65	0,23	90	0,66
16	0,11	41	0,05	66	0,10	91	0,55
16	0,12	42	0,3	67	0,27	92	0,99
18	0,34	43	0,15	68	0,2	93	0,9
19	0,11	44	0,15	69	0,12	94	0,98
20	0,07	45	0,15	70	0,05	95	0,20
21	0,10	56	0,34	71	0,70	96	0,04
22	0,07	47	0,40	72	0,24	97	0,62
23	0,32	48	0,12	73	0,27	98	0,01
24	0,20	49	0,29	74	0,27	99	0,54
25	0,85	50	0,17	75	0,63	100	0,14

As pesquisas realizadas entre os anos de 2000 e 2004 de medições e processamento das linhas de costa discutidas nos Capítulos 6 e 7, complementadas por testes e embasamento teórico possibilitam apresentar uma estimativa de precisão, em intervalos, para a medição da linha de costa utilizando receptores de GPS.

Inicialmente, considerando que a precisão dos resultados é dependente, principalmente, do tipo de equipamento e do método, o posicionamento absoluto – medição com um único receptor isolado – independentemente do equipamento, se o mais simples ou o geodésico, tem uma precisão da ordem de 5 m a 10 m e seu emprego deve ser restrito a trabalhos exploratórios ou a mapas na escala menor que 1: 20,000.

Os intervalos estimados consideram que o método utilizado é o descrito em 3.4.4.3. e que os receptores de GPS são geodésicos e que o ponto considerado como referência encontra-se a uma distância máxima de 10km do local da medição da linha de costa. Considera, ainda, que o local a ser medido não tem obstáculos para os sinais de GPS, tais como: vegetação alta, proximidade de edificações, edifícios altos ou falésias,

Atendidos os requisitos e considerações anteriores apresenta-se na tabela 12 estimativas de precisão, por intervalos, dependentes de dois fatores relacionados às atividades de campo:

- da identificação da feição a ser medida
- e do acesso ao local da medição com a antena de receptor

Tabela 12. Estimativas de precisão na medição da linha costa com receptores GPS com o método cinemático diferencial pós-processado.

ACURACIA ESTIMADA	FEIÇÃO MEDIDAS E ACESSO
Menor que 10cm	Linha de costa bem identificada e com acesso para passar com a antena do GPS sobre o local. Exemplo: a berma na areia, marcas associadas com o nível da água e a presença de vegetação rasteira.
Entre 10 e 30cm	Linha de costa bem identificada, mas com algumas dificuldades de acesso ao local de medição. Exemplo: pequenas dunas, pedras e vegetação arbustiva.
Entre 30cm e 1m	Linha de costa identificada, mas com restrições de acesso ao local de medição. Exemplo: edificações na zona do estirâncio, muros de proteção, locais com erosão em barrancos.
Entre 1 a 2m	Linha de costa identificada, mas com impossibilidade do acesso ao local de medição com a antena do receptor GPS. Exemplo: penhascos rochosos, falésias, presença de vegetação alta, As medições são realizadas nas proximidades e acrescentam-se as diferenças com outros processos de medição.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

1. A metodologia apresentada e testada provou ser prática e eficiente para as medições e monitoramento da linha de costa. Para sua aplicação recomenda-se:
 - A utilização de receptores GPS geodésicos, aos pares, no modo relativo pós-processado para obter precisão centimétrica nas coordenadas planas (N,E).
 - O uso de pontos de conferência, no campo, independentes dos pontos fixos de apoio, para teste e conferência dos resultados.
 - O treinamento do processamento dos dados nos programas especializados, que envolve o conhecimento dos parâmetros dos sistemas de referência e da análise dos resultados.
 - Ter sempre em mente que a linha de costa determinada representa na realidade o valor médio de um intervalo de pontos, cuja dispersão em torno do mesmo será função da habilidade do observador, da facilidade de identificação da feição, bem como do nível de acesso da antena ao local.
2. As linhas de costa que venham a ser determinadas com a metodologia proposta podem ser utilizadas como referenciais científicos, permitindo identificar tendências evolutivas quando comparadas a medições futuras, como também, resgatar tendências passadas, embora com grau de acurácia dependente daqueles de registros históricos, quando comparadas com documentação cartográfica pré-existente. Recomenda-se assim esforço para sua utilização, sempre que possível, para a rápida obtenção de banco de dados sobre o posicionamento da mesma, necessária para guiar políticas de proteção e ocupação da costa. Em trabalhos futuros, recomenda-se ainda, pesquisar a medição tridimensional da linha de costa com receptores GPS, ainda limitada pela resolução altimétrica dos receptores atuais.
3. A medição da linha de costa com receptor GPS apresenta ainda como vantagem, a possibilidade de se obter uma inequívoca identificação das feições que delimitam o ambiente, em contraste com sua identificação realizada tomando por base mapas preparados a partir de fotos aéreas verticais, ou imagens digitais quando a identificação do local de medição depende da escala e é dificultada pela estimativa da influência das marés e ação das ondas.
4. O grau de acurácia e precisão da medição com receptores GPS, na metodologia proposta para o plano horizontal, mostrou-se dependente da possibilidade de perfeita identificação da feição a ser medida bem como do nível de acesso da antena do equipamento ao local de medição. Assim, a metodologia não pode ser aplicada em locais com restrições de visibilidade entre a antena do receptor e os satélites, tais como próximo a falésias, edifício altos e em presença de vegetação densa e de grande porte. Em um campo de teste, a precisão média do método foi de 1,7 cm (min= 0,4; Max.= 3,6 cm) variando entre

observadores, enquanto a acurácia média foi de 0,5cm (min.=0; max.=24cm). Em uma situação real, considerando o desvio total, discrepâncias médias no posicionamento da linha de costa por diferentes observadores variaram de 12 a 16 cm quando a linha era facilmente identificada e o acesso a área livre e entre 51 e 78 cm, quando as condições de identificação e/ou acesso não eram ideais, com desvios pontuais sempre inferiores a 170 cm.

5. Ao longo do trecho entre a foz do rio Timbó e a entrada sul do canal de Santa Cruz, foi constatado o aterro de uma área de cerca de 66,5 ha, entre os anos de 1969 e 1988 paralelamente ao recuo da linha de costa na frente do forte Orange. Para o período de 1988 a 2004, ficou evidenciado o avanço da erosão e recuo da linha de costa tanto no trecho continental quanto da ilha de Itamaracá, com desgaste das paredes do forte Orange, paralelamente ao aparecimento de um pontal arenoso imediatamente a norte do forte. Na extremidade sul da ilha de Itamaracá recomenda-se uma imediata intervenção no local. Prioridade para a questão da proteção à fortificação que já apresenta desgaste na região de contacto com as ondas, bem como na destinação para a nova área acrescida e no manejo do local erodido para evitar a propagação do problema.

6. A Coroa do Avião vem migrando e girando, tendo seu centro geométrico se deslocando 11,62m para norte e 7,75m para oeste, pelo efeito combinado de erosão de sua face sul e acreação ao longo de sua face norte. A área erodida foi de 5741,89 m², a uma razão 136,71 m²/mês e a área acrescida chegou a 6890,46 m², a uma razão de 164,04 m²/mês. Essas alterações da linha de costa forçaram a relocação e, posteriormente, a retirada das instalações do museu e da base de pesquisa em aves migratórias da UFRPE. A construção de um píer na ilha da Coroa do Avião desestabilizou o ambiente provocando um rápido recuo de 28,3m da linha de costa em sua extremidade oeste. A fragilidade e vulnerabilidade do sistema às intervenções, exigem uma política de manejo imediata apoiada no monitoramento e no estudo da dinâmica local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, R.F.do.; LIMA, A.T.de.; ASSIS, H.M.B.de.; MANSO, V. A. V. **Estudo do comportamento atual da linha de costa entre as desembocaduras do rio Timbó e do Canal de Santa Cruz, Paulista-PE-II**. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 36. Natal. 1990. V. (2):676-689.
- ANDRADE, G.O. **Climas do Brasil**. In: AZEVEDO, A; BRASIL a Terra e o Homem, as Bases Físicas. São Paulo. Companhia Editora Nacional. 1964. 452p.
- ARAUJO, T.C.M.de.; PONTES, P.M.; SILVA, C.M.B.; MUNIZ FILHO, P.T. **Dinâmica costeira no extremo sul da ilha de Itamaracá-PE**. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Recife. 2003. 01 CDROM.
- BARRETO, A.M.F.; BEZERRA, F.H.R.; SUGUIO, K.; TATUMI, S.H.; YEE, M.; PAIVA, R.P.; MUNITA, C.S. **Late Pleistocene marine terrace deposits in northeastern Brazil: sea-level charge and tectonic implications**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002.(179):57-69.
- BARROS, L.C. **Estudos sedimentológicos na plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do Canal de Santa Cruz e o rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco**. Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Geociências. 2003. 85p.
- BIRD, E.C.F. **Beach Management**. Chichester. Wiley. 1996. 282p.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M. **Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia (Brazil)**. In: Suguio, K., Fairchild, R.T., Martin, L., Flexor, J.M. eds. *Proceedings of the International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*. São Paulo. 1979. p.232-253.
- BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de julho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº. 243, de 28 de fevereiro de 1967**. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. Brasília, 28 de fevereiro de 1967.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº. 4.120, de 21 de fevereiro de 1942**. Altera a legislação sobre terrenos de marinha. Rio de Janeiro, 15 de julho de 1943.
- BROCE, D.A.S. **Importação e exportação de carbono orgânico sob forma particulada através da barra sul do Canal de Santa Cruz, Itamaracá – PE, Brasil**. Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica. 1994. 82p.
- CAMARGO, J.M.R.de.; ARAUJO, T.C.M.de. **Evolução da vulnerabilidade à erosão das praias de ilha de Itamaracá-PE, como subsídio para um monitoramento da morfologia praial**. In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Recife. 2003. 01 CDROM.
- CAMFIELD, F. E. E.; MORANG, A. **Defining and interpreting shoreline change**. *Ocean & Coastal Management*. 1996. 32(3):129-151.
- CATALÁN, M.M.; URQUIOLA, M.C.P. **Applications of spatial altimetry to studies of ocean dynamics in the Gulf of Cadiz**. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*. 1999. 15(1-4): 9-19

- CHAMBERS, D.P.; MEHLHAFF, C.A.; URBAN, T.J.; FUJII, D.; NEREM, R.S. **Low-frequency variations in global mean sea level : 1950-2000**. Journal of geophysical research. 2002 104(C4):1.1-1.11.
- DANTAS SILVA, L. **Pernambuco preservado: histórico dos bens tombados no Estado de Pernambuco**. Recife. 2002. 272p.
- DARWIN, C. **On a remarkable bar of sandstone of Pernambuco on the coast of Brasil**. London, Edinburgh, Dublin Philos. Mag & Journ. Sci. 1841. (19): 257-261
- DIEZ, J.J. **A review of some concepts involved in the sea-level rise problem**. Journal of Coastal Research. 2000. (16): 1179-1184.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; LEÃO, Z.M.de.A.; AZEVEDO, A.E.G. **Geologia do Quaternário costeiro do Estado de Pernambuco**. Rev. Brás. Geoc. 1990. 20(1-4):208-215.
- DOUGLAS, B.C.; CROWELL, M. **Long-term Shoreline Position Predication and Error Propagation**. Journal Coastal Research. 2000. 16(1):145-152.
- ESKINAZI-LEÇA, E. **Composição e distribuição do microfitoplancton na região do Canal de Santa Cruz (Pernambuco - Brasil)**. Recife, UFPE. Tese de Livre Docente. Inst. de Biociências. 1974. 127p.
- ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 6 ed. Porto Alegre . Globo, 1978. 656 p.
- FINKL, C.W. **Long-Term of Trends in Shore Protection Based on Paper Appearing in the Journal of Coastal Research, 1984-2000**. Journal Coastal Research. 2002. 18(2):211-224.
- FOLK, F.L.; WARD, W.C. **Brazos river bar: a study in significance of grain parameters**. Journal of Sedimentary Petrology. 1957. V. 27, N°1, 3:26.
- GALDINO, C.A.P.M. **Determinação de desníveis por GPS para aplicações em engenharia através da definição dos parâmetros de um geóide local**. Curitiba, UFPR, Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas. 1996. 86p.
- GEMAEEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba. Editora da UFPR, 1994. 319 p.
- GOLMAN, L.; MORANG, A.; LARSON, R. **Monitoring the Coastal Environment, Part IV Mapping Shoreline Changes and Bathmetric Analysis**. Journal Coastal Research. 1998 14(1): 61-9.
- GREGÓRIO, M. das. N. **Sedimentologia e morfologia das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife(PE)-Brasil**. Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Oceanografia, na área de Oceanografia Abiótica. 2004. 98p.
- IBGE. 2003. **Resolução PR. nº 22, de 21 de julho de 1983**. Dispõe sobre as Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro.
- IBGE. 2004. Mapa Geoidal do Brasil. Diretoria de Geociências - Coordenação de Geodésia - Projeto Base de Dados do SGB, data referência 02/09/2004
- KEMPF, M. **Nota Preliminar sobre os Fundos Costeiros da Região de Itamaracá (Norte do Estado Pernambuco, Brasil)**. Trabalhos Oceanográficos. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 1970. 9/11 (1967-69): 95-107.
- KRUEGER, C.P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, UFPR. Tese de doutorado em Ciências Geodésicas. 1996. 267p.

- KRUEGER, C.P.; CENTENO, J.A.; MITSHITA, E.A.; VEIGA, L.A.K.; ZOCOLLOTI FILHO, C.A.; JUBANSKI, J.J.; URAKAWA, M.J. **Determinação da linha de costa na região de Matinhos (PR) através de diferentes métodos.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente-SP. 2002. p 206-211.
- LEICK, A. **GPS satellite surveying.** 2nd. ed. New York. John Wiley & Sons, 1994. 560p.
- LIRA, L. **Geologia do Canal de Santa Cruz e praia submarina adjacente a Ilha de Itamaracá-PE.** Porto Alegre, UFRGS. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. 1975. 107p.
- MABESON, J. M. **Origin and age the sandstone reefs of Pernambuco(Northeastern Brasil).** Journal of Sedimentary Petrology .1964. (31):715:726.
- MANSO, V.A.V.; LIMA FILHO, M.F.; OLIVEIRA, A.T. de. **Macrozoneamento costeiro do litoral de Pernambuco Folha Itamaracá – SB-25-Y-V-III.** Recife, UFPE. Relatório técnico. Deptº. de Eng. de Minas. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha-LGGM. 1992. 45p.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. **Fluctuating Holocene Sea Levels in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators.** Journal Coastal Research. 2003. 19(1):101-124.
- MARTINS, M.H.de A. **Caracterização morfodinâmica do litoral da ilha de Itamaracá – PE.** Recife, UFPE, Dissertação de Mestrado em Geociências. 1997. 111p.
- MEDEIROS, C. **Circulation and mixing processes in the Itamaracá estuarine system,** Brasil. Tese University of South Carolina. 1991. 131p.
- MEDEIROS, C.; KJERFVE, B. **Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil.** Estuarine, Coastal And Shelf Science. 1993. 36(1): 495 – 515.
- MIKHAIL, E.M.; BETHEL, J.S.; MCGLONE, J.C. **Introduction to modern photogrammetry.** New York. John Wiley & Sons. 2001. 479p.
- MITSHITA, E.A.; KRUEGER, C.P.; CENTENO, J.A.; JUBANSKI, J.J.; ZOCOLLOTI FILHO, C.A.; URAKAWA, M.J. **Reconstituição da posição da linha de costa no município de Matinhos ao longo de 45 anos com a técnica de monorestituição digital de aerofotos.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente-SP. 2002. p 320-327.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS. Descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo. Editora UNESP. 2000. 287p.
- MONTES, M.J.F. **Variação nictemeral do fitoplâncton e parâmetros hidrológicos no Canal de Santa Cruz, ilha de Itamaracá, PE.** Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica. 1996. 174p.
- MOORE, L.J. **Shoreline Mapping Techniques.** Journal Coastal Research. 2000. 16(1), 111-124.
- MORAIS, M.Z. de C.; LIMA FILHO, M. de. **Modificações da linha de Costa causados pela expansão urbana na ilha de Itamaracá.** II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Recife. 2003. 01 CDROM.
- MORAIS, M.Z. de C. **Utilização do grau de desenvolvimento urbano (GDU) como instrumento de gestão ambiental: o uso e ocupação da zona costeira da ilha de Itamaracá.** Recife, UFPE, Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. 2000. 113p.
- MORTON, R.A.; LEACH, M.P.; PAINE, J.G.; CARDOZA, M.A. **Monitoring beach changes using GPS surveying techniques.** Journal Coastal Research. 1993, 9(3):702-720.

- MUEHE, D.; NEVES C.F. **The implications of sea-level rise on the Brazilian coast: A preliminary assessment.** Journal of Coastal Research, Special Issue. Fort Lauderdale (Florida). 1995. Nº. 14, 54-78.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.ngs.noaa.gov/INFO/NGShistory.html>> Acessado em 20 de setembro de 2004.
- PAGE, G. H. **Phi-millimeter conversion table.** Journal of Sedimentary Petrology. 1959. V. 25 Nº4, 285:292.
- PAJAK, M.J.; LEATHERMAN, S.P. **The high water line as shoreline indicator.** Journal Coastal Research. 2002. 18(2), 329-337.
- PASSAVANTE, J.Z. de O. **Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco).** São Paulo. USP. Tese em Oceanografia Biológica. Instituto Oceanográfico. 1979. 188p.
- PEREIRA, L.C.C. **Hidrodinâmica e sedimentologia da praia de Casa Caiada-PE.** Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Abiótica. 1998. 86p.
- PINTO T. K. **Estrutura da comunidade de meiofauna do banco de areia Coroa do Avião - Itamaracá – PE-Brasil.** Recife, UFPE. Dissertação de Mestrado em Biologia Animal. 1998. 51p.
- ROMÃO, V.M.C.; PORTUGAL, J.L.; ANDRADE, E.D.V. de. **Estudos do uso do GPS na definição de uma superfície geoidal local.** In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife. 1999. 01 CD-ROM.
- SALLENGER JR.; KRABILL, W.B.; SWIFT, R.N.; BROCK J.; LIST, J.; HANSEN, M.; HOLMAN, R.A.; MANIZADE, S.; SONTAG, J.; MEREDITH, A.; MORGAN, K.; YUNKEL, J.K.; FREDERICK, E.B.; STOCKDON, H. **Evaluation of Airborne Topographic Lidar for Quantifying Beach Changes.** Journal Coastal Research. 2003 19(1), 125-133.
- SANTOS, A.A.dos. **Realização e análise de rede GPS para o Estado de Pernambuco.** Curitiba, UFPR, Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas. 1996. 70p.
- SANTOS, A.A.dos. **Geodésia Elementar – Princípios de posicionamento global (GPS).** Recife, Editora UFPE. 2001. 215p.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy. Foundations, Methods and Applications.** Berlin, New York. Walter de Gruyter. 1993. 512p.
- SEEBER, G.; ROMÃO, V.M.C. **Conceitos de métodos rápidos com GPS.** Cartografia e Cadastro. Publicação do Instituto Português de Cartografia e Cadastro. Lisboa. Número 9. Dezembro 1998. 3-9p.
- SILVA, A. J. A. da. **O uso do GPS nas medições geodésicas de curta distância.** Curitiba, UFPR, Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas. 1990. 180p.
- SILVA, L.A.da. **Sedimentologia do Canal de Santa Cruz – ilha de Itamaracá –PE.** Recife, UFPE, Dissertação de Mestrado em Geociências. 2004. 97p.
- SCHOLLE, P.A. **Constituents, texture, cements and porosities of sandstones and associate rocks.** U.S.A. Geological Survey, Published by The American Associate of Petroleum Geologists Foundation. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 1979, 193p.
- SUDENE. **Normas climatológicas da área da SUDENE,** Recife. 1963. 83p.
- SUDENE. **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste: Folha nº 21, Recife –NO.** 1978.183p
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo, Editora EDGAR BLÜCHER, 1973. 312p.

- SUGUIO, K.; BARRETO, A.M.F.; BEZERRA, F.H.R.; OLIVEIRA, P.E. de. **Variações do nível do mar no Holoceno em Pernambuco e Paraíba**. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 42. Araxá. 2004a. 01 CD-ROM.
- SUGUIO, K.; BARRETO, A.M.F.; BEZERRA, F.H.R.; TATUMI, S.H.; OLIVEIRA, P.E. de. **Níveis marinhos pleistocênicos em Pernambuco e Paraíba**. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 42. Araxá. 2004b. 01 CD-ROM
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. **Flutuações relativas do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira**. 1985. Rev. Brás. Geoc. 15(4):273-286.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.de.; FAIRCHILD, R.T.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo, Oficina de textos. 2000. 586p.
- TEUNISSEN, P.J.G.; KLEUSBERG, A. **GPS for geodesy**. Berlin, Springer-Verlag. 1998. 650p.
- TORGE, W. **Geodesy Third completely revised and extended edition**. Berlin, New York. Walter de Gruyter. 2001. 416p.
- VINTEM, G.; TOMAZELLI, L.J.; KLEIN, A.H.da F. **O efeito do tamanho de grão de areia no processo de transporte eólico nos campos de dunas transgressivas do litoral do Estado de Santa Catarina-Brasil**. In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Recife. 2003. 01 CDROM.
- WOLF, P.R. **Elements of photogrammetry** . McGraw-Hill. Kogakusha, 1974. 561p.
- WOLF, P.R.; GHILANI, C.D. **Statistics and least squares in surveying and GIS**. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1996. 564p.
- WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. **Elements of photogrammetry with applications in GIS**. 3. ed. Boston, McGraw-Hill. 2000. 608p.
- YEE, M.; TATUMI, S. H.; SUGUIO, K.; BARRETO, A.M.F.; MOMOSE, E.F.; PAIVA, R.P.; MONITA, C. S. **Thermoluminescence (TL) dating of inactive dunes from the Rio Grande do Norte coast, Brazil**. In: Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: Morfodinâmica , ecologia , usos, riscos e gestão. Itajaí, Santa Catarina, Brazil, Universidade do Vale do Itajaí, abstrato expandido. 2000.