

HENRIQUE RAVI ROCHA DE CARVALHO ALMEIDA

**SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS SUB-
ORBITAIS E ORBITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL NA AVALIAÇÃO DA MORFODINÂMICA
PRAIAL NO MUNICÍPIO DO CABO DE
SANTO AGOSTINHO - PE**

Recife, 2008

HENRIQUE RAVI ROCHA DE CARVALHO ALMEIDA

**SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS SUB-
ORBITAIS E ORBITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL NA AVALIAÇÃO DA MORFODINÂMICA
PRAIAL NO MUNICÍPIO DO CABO DE
SANTO AGOSTINHO - PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de Concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, defendida e aprovada no dia 12/09/2008.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

Recife, 2008

A447s

Almeida, Henrique Ravi Rocha de Carvalho

Séries temporais de imagens sub-orbitais e orbitais de alta resolução espacial na avaliação da morfodinâmica praial no município do Cabo de Santo Agostinho-PE / Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida. - Recife: O Autor, 2008.

xi, 117 f.; il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.

Inclui Referências bibliográficas e Anexos.

1. Geoinformação. 2. Morfodinâmica Praial. 3. Erosão Costeira. 4. Variações da Linha de Costa. 5. Gerenciamento Costeiro. 6. Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil. I. Título.

526 CDD (22.ed.)

UFPE/BCTG/2008-215

**SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS SUBORBITAIS E
ORBITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA
AVALIAÇÃO DA MORFODINÂMICA PRAIAL NO
MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE**

POR

HENRIQUE RAVI ROCHA DE CARVALHO ALMEIDA

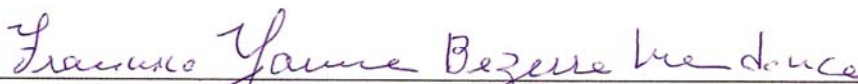
Dissertação defendida e aprovada em 12.09.08.

Banca Examinadora:



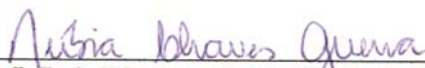
Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER (Orientador)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. FRANCISCO JAIME BEZERRA MENDONÇA

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Profª. Drª. NUBIA CHAVES GUERRA

Departamento de Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco.

Dedico este trabalho à Marilde, minha mãe e amiga, a meus irmãos Ramon e Sara, e a minha noiva Nana, pois sou muito feliz ao seu lado. A presença deles me deu forças para vencer os obstáculos da vida, entre eles está a conclusão desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram na elaboração desta dissertação. No entanto, dentre os que guardo em minha memória, há alguns que, pelo seu especial empenho faço questão de expressar meu agradecimento.

Primeiramente agradeço ao Prof. Doutor Carlos Alberto Borba Schuler que, além de meu orientador, se revelou um amigo durante toda caminhada desta dissertação. Minha gratidão será eterna, lembrarei dos ensinamentos e muitos conselhos que recebi, hoje sei que todos foram e serão essenciais em minha vida.

A Prof^a. Doutora Núbia Chaves Guerra, o meu agradecimento por todas as palavras de incentivo e disponibilidade para leituras e sugestões, fundamentais para aprimorar a qualidade da presente dissertação. Com sua ajuda pude ter a noção de como são importantes os estudos sobre a morfodinâmica praial, o que de certa forma abriu um leque em busca de novos conhecimentos nesta interessantíssima área da Oceanografia.

Agradeço também ao Prof. M.Sc. Hernande Pereira da Silva por acompanhar este trabalho desde o início, me recebendo muitas vezes em sua sala, com paciência e muitas sugestões ao longo deste estudo. Sua ajuda com as imagens Quickbird foi essencial para a realização deste trabalho.

À Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) que gratuitamente forneceu as fotografias e as ortofotocartas, como também ao Presidente desta agência, Luiz Quental Coutinho e ao funcionário Carlos Rique, que sempre atencioso e paciente, separou e *scannerizou* as imagens da área de estudo.

À Companhia Pernambuca de Gás (COPERGÁS) em especial à supervisora de geoprocessamento Eng^a. Márcia Rejane Macedo por ceder as cópias das ortofotocartas da área de estudo.

A minha família que esteve sempre do meu lado, dando forças nos momentos mais difíceis até o dia de hoje em que escrevo estes agradecimentos.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a todos os amigos, pois compartilhamos muitos momentos bons nesta trajetória, que para mim serão inesquecíveis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivos.....	02
1.1.1 Objetivo Geral.....	02
1.1.2 Objetivos Específicos.....	02
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Sistema Praial.....	03
2.1.1 Definição e Terminologia de Praia.....	03
2.1.2 Feições Morfológicas de Praias.....	03
2.1.3 Processos Sedimentares Praiais.....	06
2.1.3.1 Erosão Praial.....	11
2.1.3.2 Significado das Taxas de Variação da Linha de Costa.....	12
2.1.4 Gerenciamento Costeiro.....	14
2.2 Métodos e Técnicas Aplicados na Avaliação e Determinação da Variação da Linha de Costa.....	17
2.2.1 Definição de Linha de Costa.....	17
2.2.2 Determinação da Variação Costeira com base em Tecnologias Espaciais.....	19
2.2.2.1 Análise Temporal de Ortofotocartas e Imagens Quickbird.....	20
2.3 Fotogrametria.....	21
2.3.1 Definição e Aplicação.....	21
2.3.2 Resumo Histórico.....	22
2.3.2.1 Fotogrametria Pioneira (1850 ~ 1900).....	22
2.3.2.2 Fotogrametria Analógica (1901 ~ 1950).....	23

2.3.2.3	Fotogrametria Analítica (1951 ~ 1990).....	25
2.3.2.4	Fotogrametria Digital (1990 ~ dias de hoje).....	26
2.3.3	Obtenção de Imagens Fotogramétricas.....	28
2.3.3.1	Câmaras Aerofotogramétricas.....	28
2.3.3.2	Resolução das Imagens Fotogramétricas Analógicas.....	29
2.3.3.3	Aquisição de Imagens Fotogramétricas Digitais.....	31
2.3.3.4	Resoluções das Imagens Fotogramétricas Digitais.....	34
2.3.4	Visão Binocular e Estereoscópica.....	36
2.3.4.1	Paralaxe Estereoscópica.....	37
2.4	Imagens Orbitais.....	39
2.4.1	Satélites.....	39
2.4.1.1	Processo de Aquisição de Dados.....	40
2.4.1.2	Órbita e Faixa de Cobertura do Solo.....	41
2.4.2	O Satélite Quickbird.....	43
2.4.2.1	Características do Satélite.....	43
3.	ÁREA DE ESTUDO.....	46
3.1	Enquadramento Geral.....	46
3.2	Localização e Delimitação da Área de Estudo.....	46
3.2.1	O Litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho.....	47
3.3	Uso e Ocupação.....	47
3.4	Aspectos Físicos.....	54
3.4.1	Clima.....	54
3.4.2	Vegetação.....	55

3.4.3	Hidrografia.....	56
3.4.4	Oceanografia.....	57
3.4.4.1	Regime de Marés.....	57
3.4.4.2	Ventos.....	58
3.4.4.3	Sistema de Correntes.....	59
3.4.4.4	Clima de Ondas.....	60
4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	62
4.1	Referencial Teórico.....	63
4.2	Coleta de Dados.....	63
4.3	Localização e Análise dos Dados.....	64
4.4	Registro e Georreferenciamento das Imagens.....	66
4.4.1	Registro das Ortofotocartas.....	67
4.4.2	Registro das Imagens do Satélite Quickbird.....	71
4.5	Mosaicagem das Imagens.....	71
4.6	Divisão das Áreas em Setores Praiaais e Vetorização das Linhas de Costa.....	73
4.7	Confecção de Mapas de Variação da Linha de Costa e Obtenção das Taxas de Variação de Linha de Costa (TVLC).....	76
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
5.1	Variações da Linha de Costa.....	78
5.1.1	Padrão Morfodinâmicos Praiaais.....	80
6.	CONCLUSÕES.....	90
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
8.	ANEXOS.....	101

RESUMO

ALMEIDA, Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida. **Séries Temporais de Imagens Suborbitais e Orbitais de Alta Resolução Espacial na Avaliação da Morfodinâmica Praial no Município do Cabo de Santo Agostinho – PE**. Recife, 2008, 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

A erosão praial é um problema sério em todo o mundo, pois afeta praticamente todos os países com litoral, podendo em alguns casos, alcançar estágios bastante elevados. Em Pernambuco, o estado morfodinâmico praial ao longo de 187 km de extensão, caracteriza-se por grande dinâmica de sedimentos, resultando em processos erosivos em praticamente todo litoral. Tendo como área experimental a faixa litorânea do Município do Cabo de Santo Agostinho, localizado no Estado de Pernambuco, o presente estudo, buscou avaliar a tendência morfodinâmica praial em escala temporal, utilizando ortofotocartas P & B dos anos de 1975 e 1988 e imagens multiespectrais do satélite Quickbird do ano de 2005. Com o objetivo de obter resultados mais detalhados, dividiu-se a área de estudo em 6 setores, verificando, a partir da vetorização da linha de costa em *software* comercial (Auto Cad Map), que as dinâmicas costeiras não se manifestaram com a mesma intensidade ao longo de todos os setores nos períodos observados (1975-1988 e 1988-2005), apresentando, os setores 4 e 6 tendências erosivas nos dois momentos, enquanto que nos setores 1 e 2 prevaleceu avanços da linha de costa. Os setores 3 e 5 indicaram alternâncias (avanços/recuos) da linha de costa. Os resultados obtidos são de grande importância para a determinação das tendências evolutivas no litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho, fornecendo subsídios para uma avaliação de possíveis impactos gerados por fatores perturbadores da dinâmica sedimentar costeira, como também auxiliar com outros estudos de evolução de linha de costa para a região litorânea, provendo dados históricos à órgãos e entidades de planejamento urbano, auxiliando no ordenamento racional da faixa litorânea.

Palavras-Chave: Morfodinâmica Praial, Erosão Costeira, Variações da Linha de Costa, Gerenciamento Costeiro, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil.

ABSTRACT

ALMEIDA, Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida. **Time Series of Suborbital and Orbital Images Space High Resolution in Assessment Beach Morphodynamic in the city of Cabo de Santo Agostinho – PE.** Recife, 2008, 115p. Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) – Center of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Brazil.

The beach erosion is a serious problem in the whole world, affecting practically all the countries coast, being able in some cases, to reach sufficiently high periods. In Pernambuco, the morphodynamic beach situation, throughout 187 km of extension, it's characterized for great sedimentary dynamics, resulting in erosion processes in practically all coastal. Having as experimental area, the littoral at Cabo of Santo Agostinho, located in State of Pernambuco, the present study, it searched to evaluate the morphodynamic beach trend in secular scale, using ortophotomap B and W of the years of 1975 and 1988 and multispectral images of the Quickbird satellite of the year of 2005. With the objective to get more resulted detailed, it was divided studied area in 6 sectors, verifying from the vectoring of the shoreline (Auto Cad Map), that the coastal dynamics they had not been disclosed with the same intensity throughout all the sectors in the observed periods (1975-1988 e 1988-2005); presenting, the sectors 4 and 6, erosive trends at the two moments, whereas in sectors 1 and 2 it took advantage advances of the shoreline. The sectors 3 and 5 had indicated alternations (advances/retration) of the shoreline. The gotten results they are of great importance for the determination of the evolution trends in the coast of the Cabo of Santo Agostinho City, supplying subsidies for an evaluation of possible impacts generated for disturbing factors of the coastal dynamics sedimentary, as well as, to subside other studies by evolution of shoreline, to provide given historical data for agencies and entities of urban planning, assisting in the rational order of the coast.

Key-words: Morphodynamic Beach, Erosion Coastal, Shoreline Variation, Coastal Zone Management, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:	Perfil generalizado de uma praia, apresentando suas divisões e os principais elementos morfológicos.....	04
Figura 02:	<i>Beachrock</i> praia de Enseada dos Corais, litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho – PE.....	06
Figura 03:	Fluxograma dos agentes oceanográficos que caracterizam o equilíbrio praial.....	06
Figura 04:	Estágio reflectivo, praia do Paiva, litoral sul de Pernambuco.....	08
Figura 05:	Estágio dissipativo, praia de Itapuama, litoral sul de Pernambuco....	08
Figura 06:	Transporte longitudinal, caso de erosão, praia de Enseada dos Corais litoral sul de Pernambuco.....	09
Figura 07:	Representação esquemática da dinâmica nas desembocaduras fluviais em ambientes dominados por ondas. A: as frentes de onda se aproximam paralelas à linha de costa. B: as frentes de onda se aproximam obliquamente à linha de costa.....	10
Figura 08:	Setorização da Zona Costeira de Pernambuco.....	16
Figura 09:	Delimitação visual da linha de costa.....	17
Figura 10:	Alvo para determinação da resolução espacial.....	29
Figura 11:	Tipos básicos de objetos vetoriais.....	31
Figura 12:	Distribuição matricial (à direita) equivalente a um conjunto de pixels (à esquerda).....	32
Figura 13:	<i>Scanner</i> fotográfico de mesa.....	33
Figura 14:	<i>Drum Scanner</i>	33
Figura 15:	Câmara aérea WILD RC 30.....	34
Figura 16:	Fusão de duas imagens planas distintas em perspectivas diferentes, resultando numa percepção em 3D do cenário.....	36
Figura 17:	Diferença de paralaxe em x.....	37
Figura 18:	Diferença de paralaxe em x e y.....	38
Figura 19:	Interação da radiação eletromagnética com alvos na superfície terrestre.....	40

Figura 20:	Órbita dos satélites geoestacionários.....	41
Figura 21:	Representação de satélites de órbita polar ou quase polar.....	42
Figura 22:	Ilustração do satélite QuickBird em órbita.....	44
Figura 23:	Mapa de Localização do Município do Cabo de Santo Agostinho....	46
Figura 24:	Praia do Paiva.....	48
Figura 25:	Praia de Itapuama.....	48
Figura 26:	Praia da Pedra do Xaréu.....	49
Figura 27:	Praia Enseada dos Corais.....	50
Figura 28:	Praia de Gaibú.....	50
Figura 29:	Praia de Calhetas.....	51
Figura 30:	Praia do Cabo de Santo Agostinho.....	52
Figura 31:	Praia do Paraíso.....	52
Figura 32:	Praia de Suape.....	53
Figura 33:	Mapa com o surgimento da ilha Cocaia (Ano de 1996)	54
Figura 34:	Representação gráfica dos valores pluviométricos das chuvas médias mensais (Ano de 1998).....	55
Figura 35:	Caracterização da circulação atmosférica na costa Leste-Nordeste do Brasil.....	59
Figura 36:	Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	62
Figura 37:	Transformação espacial entre imagens de referência e de ajuste....	66
Figura 38:	Ortofotocarta Nº 8879 de 1975, com representação dos dados para o cálculo da resolução espacial da mesma.....	67
Figura 39-A:	Mosaico da ortofotocarta de 1975.....	72
Figura 39-B:	Mosaico da ortofotocarta de 1988.....	72
Figura 39-C:	Mosaico da Imagem QuickBird de 2005.....	72
Figura 40-A:	Setorização do Mosaico de 1975.....	74
Figura 40-B:	Setorização do Mosaico de 1988.....	74

Figura 40-C:	Setorização da Imagem QuickBird de 2005.....	74
Figura 41:	Representação da linha de vegetação, praia de barra de jangada, Cabo de Santo Agostinho (recorte), fotografia aérea de 1997.....	75
Figura 42:	Vetorização da linha de vegetação (setor 1) para o período estudado.....	75
Figura 43:	Exemplo do cálculo da área existente entre a posição da linha de costa entre os anos de 1988 e 2005.....	76
Figura 44:	Representação esquemática da TVLC entre os anos de 1975 e 1988.....	77
Figura 45 A:	Mapa de Variação Sedimentológica 1975-1988.....	81
Figura 45 B:	Detalhe do Mapa de Variação da Linha de Costa (1975-1988)...	82
Figura 46 A:	Mapa de Variação Sedimentológica 1988-2005.....	84
Figura 46 B:	Detalhe do Mapa de Variação da Linha de Costa (1988-2005)...	85
Figura 47:	Histograma do comportamento da Linha de Costa a partir das TVLC entre os períodos de 1975-1988 e 1988-2005.....	86
Figura 48:	Histograma das áreas erodidas e acrescidas ao litoral durante os períodos de 1975-1988 e 1988-2005.....	87
Figura 49:	Histograma mostrando os recuos médios da linha de costa nos setores estudados.....	88
Figura 50:	Histograma comparando os avanços médios da linha de costa nos setores estudados.....	88
Figura 51:	Histograma das taxas médias anuais de recuo médio por setor.....	89
Figura 52:	Histograma das taxas médias anuais de avanço por setor.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Setorização da Zona Costeira de Pernambuco.....	16
Tabela 02:	Resumo do histórico da Fotogrametria.....	27
Tabela 03:	Especificações técnicas do satélite QuickBird.....	43
Tabela 04:	Especificações das imagens QuickBird.....	45
Tabela 05:	Dados coletados para execução do trabalho.....	63
Tabela 06:	Margem de erros de cada ortofotocarta para o ano analisado.....	71
Tabela 07:	Divisão do litoral do Cabo de Santo Agostinho em setores.....	73
Tabela 08:	Dados representativos da TVLC durante os anos de 1975 e 1988.	77
Tabela 09:	Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 1.....	78
Tabela 10:	Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 2.....	78
Tabela 11:	Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 3.....	79
Tabela 12:	Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 4.....	79
Tabela 13:	Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 5.....	79
Tabela 14:	Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 6.....	80
Tabela 15:	Resultados para as TVLC durante o período de 1975 e 1988. Recuo assinalado com sinal negativo e avanço representado pelo sinal positivo.....	80
Tabela 16:	Resultados para as TVLC durante o período de 1988 e 2005. Recuo assinalado com sinal negativo e avanço representada pelo sinal positivo.....	83
Tabela 17:	Resultados do comportamento da linha de costa entre os anos de 1975 e 2005.....	86
Tabela 18:	Comportamento (reco e avanço) da Linha de Costa entre os anos de 1975 e 2005.....	87
Tabela 19:	Taxas médias anuais de recuos e avanços da linha de costa.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMS:	Clima Tropical Chuvoso (KÖPPEN).
BM:	Baixa-Mares
CAD:	<i>Computer Aided Desing</i>
CCD:	<i>Charge Coupled Devices</i>
CEPD:	Centro de Estudos e Pesquisas de Desastres
COMPESA:	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONDEPE/ FIDEM:	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
COPERGÁS:	Companhia Pernambucana de Gás
CPRH:	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
CPU:	<i>Central Processing Unit</i>
DHN:	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DPI:	<i>Dots Per Inch</i>
GERCO:	Grupo Executivo de Gerenciamento Costeiro
GPS:	<i>Global Positioning System</i>
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE:	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISD:	<i>Image Support Data</i>
ISP:	<i>International Society for Photogrammetry</i>
ISPRS:	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
ITEP:	Instituto Tecnológico de Pernambuco
LANDSAT:	<i>Land Satellite</i>
MC:	Meridiano Central
NE:	Nordeste
NOAA:	<i>National Oceanoic and Atmospheric Administration</i>

P & B:	Preto e Branco
PIXEL:	<i>Picture x Element</i>
PM:	Preamar Máxima
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
RMR:	Região Metropolitana do Recife
RMS:	<i>Root Mean Square Error</i>
SAD 69:	<i>South American Datum 1969</i>
SE:	Sudeste
SECTMA:	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
SPOT:	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SPU:	Secretaria do Patrimônio da União
SW:	Sudoeste
TVLC:	Taxa de Variação da Linha de Costa
URSS:	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTM:	Universal Transversal de Mercator
ZD:	Zona de Divergência
ZEEC:	Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro

1. INTRODUÇÃO

A linha de costa é sem dúvida uma das feições morfológicas mais dinâmicas do nosso planeta. Se do ponto de vista físico a linha de costa corresponde simplesmente à linha de interface entre a terra e o mar, a tentativa de delimitá-la torna-se bem mais complicada. A sua posição varia constantemente em várias escalas temporais: diárias, seculares e milenares, sendo afetada por inúmeros fatores, alguns de origem natural, como transporte de sedimentos, variações climáticas, variações do nível do mar; e outros relacionados com a intervenção humana na zona costeira, como estradas, casas ou outro tipo de construções permanentes, bem como as interferências nos sistemas fluviais, fonte de sedimentos. Além disso, a dimensão também sofre variação (cota e largura) devido a sua sensibilidade.

Como consequência destes fatores, o litoral pernambucano com aproximadamente 187 km de extensão, em geral, apresenta problemas erosivos, o que tem merecido atenção dos setores do poder público e da população atingida, que têm adotado medidas emergenciais e descontínuas, na maioria das vezes pouco eficazes (LIRA, 1997). Em alguns trechos houve fortes intervenções públicas e particulares para controle e contenção da erosão marinha costeira, como nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, todos na Região Metropolitana do Recife.

Pesquisas técnico-científicas desenvolvidas no litoral do Estado mostram que existem muitos pontos de desequilíbrio, principalmente os relacionados ao balanço de sedimentos que é uma característica para que a linha de costa seja mantida.

No caso particular deste estudo, dentre os vários métodos que podem ser utilizados para avaliar as tendências de comportamento da linha de costa em escala temporal, adotou-se a análise seqüencial de ortofotocartas, pancromáticas (P & B), executadas a partir das fotografias aéreas tomadas em dois anos distintos (1975 e 1988) e disponibilizadas para os anos de 1975 e 1989, e de imagens do satélite "QuickBird" do ano de 2005, para obter as taxas de variação da linha de costa ocorridas entre o período citado.

1.1 – Objetivos

1.1.1 – Objetivo Geral

▪ Mostrar a possibilidade de aplicação de imagens sub-orbitais e orbitais, de alta resolução espacial, na avaliação temporal das variações da linha de costa no Município do Cabo de Santo Agostinho.

1.1.2 – Objetivos Específicos

- Identificar os pontos com evidências de erosão marinha;
- Identificar as limitações do método escolhido;
- Contribuir para o conhecimento da morfodinâmica da faixa de praia do Município do Cabo de Santo Agostinho;
- Testar a utilização das imagens de alta resolução do satélite “QuickBird” no registro e avaliação das mudanças ocorridas na área experimental;
- Gerar o mapa de evolução da linha de costa para subsidiar os gestores públicos na tomada de decisões para o desenvolvimento costeiro do Município do Cabo de Santo Agostinho de forma sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema Praial

2.1.1 – Definição e Terminologia de Praia

As praias são feições geológicas temporárias e movimentadas, estando entre os sistemas físicos da superfície da terra com maior dinâmica. Caracterizam-se, no caso estudado, como áreas costeiras onde se encontram consideráveis acumulações de sedimentos quartzosos e bioclásticos, resultando estes em fragmentos de rochas e conchas, trabalhadas pelas ações de ondas, das correntes e alterações relacionadas a meteorização, erosão e transporte a partir de uma área-fonte. São feições altamente mutáveis em função de agentes modeladores (ventos, ondas, correntes, tamanho do grão e tipo de sedimento). Daí resulta uma considerável discordância sobre a definição de uma praia, assim como a terminologia utilizada para descrever suas partes (MADRUGA FILHO, 2004).

2.1.2 – Feições Morfológicas de Praias

A classificação e subdivisão dos principais setores praias varia de autor para autor. Os problemas vão desde a tradução confusa dos termos para o português, até a dificuldade de sua delimitação nos textos da literatura internacional. No Brasil, NASCIMENTO JUNIOR (2006) e MADRUGA FILHO (2004) destacam algumas tentativas de padronização dos termos, através de revisão bibliográfica criteriosa de alguns autores, como ANGULO *et al.* (1996), ALMEIDA (1995), SUGUIO (1992) e MUEHE (2004).

Pelos motivos expostos, tendo em vista que a nomenclatura utilizada para designar os setores praias e mesmo os limites destes últimos não se padroniza, nesta pesquisa foi adotada a terminologia para ambiente praial baseada no trabalho de DUARTE (2002). Este autor divide o perfil de uma praia (Figura 1), desde o continente em direção ao mar em dunas frontais, pós-praia, praia ou estirâncio, antepraia e zona de transição.

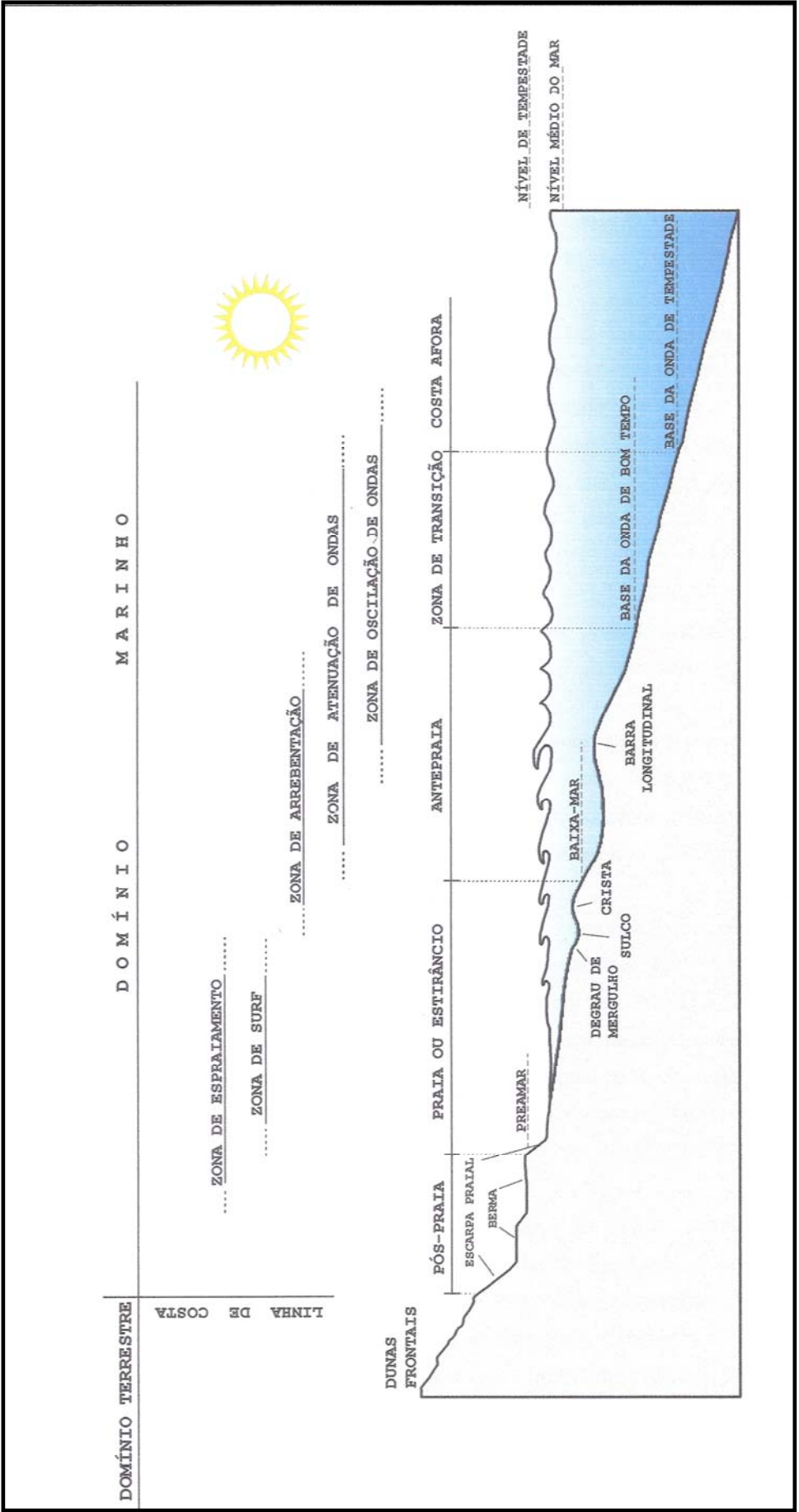


Figura 1: Perfil generalizado de uma praia, apresentando suas divisões e os principais elementos morfológicos.
Fonte: Adaptação de DUARTE (2002).

Assim, podem ser definidos os setores praias como:

- Dunas Frontais – São depósitos formados na pós-praia ou antepraia superior pela retenção de sedimento, sendo, no primeiro caso muitas vezes retido pela vegetação. De acordo com HESP apud NASCIMENTO JUNIOR (2006), as dunas frontais começam como dunas incipientes ou embrionárias e evoluem, com o aumento da altura, devido a complexidade morfológica e a diversidade de cobertura vegetal, no caso de dunas fixadas e “permanentes”.

- Pós-Praia – Representa o setor, até certo ponto estreito, localizado acima da linha de preamar, que só é inundado em marés muito altas ou de tempestades. Em locais onde predominam ventos soprando para o continente e a amplitude de maré é alta, a pós-praia é de certa forma bem desenvolvida (READING & COLLINSON apud MADRUGA FILHO, 2004). O limite inteiro, ou continental, pode ser a duna (se existir) ou o cordão holocênico / terraço holocênico relacionado à último evento de transgressão marinha.

- Praia ou Estirâncio – Corresponde a feição situada entre o limite superior de preamar, que é delimitado pela berma, vegetação ou marcas de deixa, e a linha de baixa mar. Permanece exposto durante a maré baixa e submerso no decorrer da maré alta (MELO, 2000).

- Antepraia – Região permanentemente submersa, sendo sua superfície destacada por cristas e calhas longitudinais associadas a bancos sedimentares. Apresenta uma movimentação máxima de sedimentos, reflexo dos processos litorâneos mais atuantes como corrente longitudinal induzida por ondas ou pelas próprias ondas (REINECK & SINGH, 1975). Nessa região podem ser encontrados os *beach rocks* (Figura 2), dispostos em cordões paralelos a linha de costa (MELO, 2000).

- Zona de transição – Estende-se da base média da onda de tempestade à base média da onda de bom tempo e é, por essa razão, caracterizada por alternâncias de condições de alta e baixa energia (DUARTE, 2002).



Figura 2: *Beachrock* praia de Enseada dos Corais, litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho – PE.

2.1.3 – Processos Sedimentares Praiais

A identificação dos agentes oceanográficos e de suas influências sobre a costa é fundamental para uma melhor compreensão dos processos costeiros. A ação destes agentes provoca erosão, transporte e deposição de sedimentos, o que resulta nas constantes modificações da configuração do litoral, caracterizando por sua vez, a morfodinâmica praial local (Figura 3) (MUEHE apud MARQUEZ, 2007).

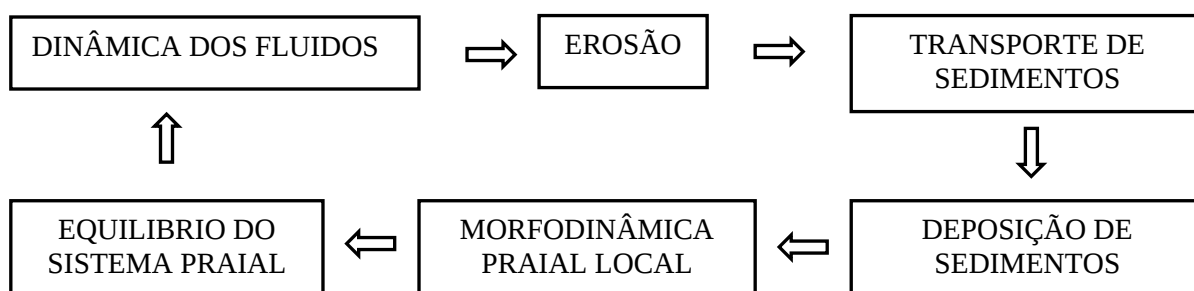


Figura 3: Fluxograma dos agentes oceanográficos que caracterizam o equilíbrio praial.

O estado morfodinâmico praial depende de uma série de fatores interdependentes que condicionam o “equilíbrio morfológico-dinâmico” do sistema. BRUUN (1960) define a morfodinâmica praial como sendo: “o ajuste mútuo da topografia e da dinâmica do fluido, envolvendo o transporte de sedimentos”. Assim, a dinâmica do fluido controla o transporte de sedimentos, resultando em variações da morfologia da costa no tempo. Esta dinâmica dos fluidos, observada na praia, é resultado da associação de todos os processos hidrodinâmicos e seus impulsionadores climáticos, sendo que estes apresentam características específicas associadas a direção e período dos “trens” de onda que incidem na costa (MARQUEZ, 2007).

Em zonas costeiras onde não haja a presença de desembocaduras fluviais, as ondas ao atingirem a linha de costa geram dois tipos de transporte de sedimentos: Transversal (*cross-shore*) e Longitudinal (*longshore*). O transporte transversal é mais importante quando o ângulo das ondas na zona de arrebentação é perpendicular à praia. O transporte longitudinal ou deriva sedimentar ocorre quando a onda arrebenta obliquamente em relação à costa (CUNHA, 2004).

O transporte transversal é o responsável pelas variações na geometria da praia, que migra dos estágios extremos reflectivos até os dissipativos, dependendo da altura e do período das ondas, bem como do nível das marés. Segundo MAFRA (2005), no estágio reflectivo a face praial terá alta declividade, com a presença comum de cúspides praias e sedimentos de textura relativamente grossa, e as ondas são geralmente pequenas enquanto a zona de arrebentação é estreita, apresentando berma acentuada (Figura 4). Nos estágios dissipativos, as praias caracterizam-se por baixa declividade e sedimentos de textura fina a média (Figura 5). A energia das ondas é geralmente alta, há larga zona de arrebentação e a presença comum de barras submersas, onde as ondas dissipam a maior parte da energia antes de atingir a praia.



Figura 4: Estágio reflectivo, praia do Paiva, litoral sul de Pernambuco.



Figura 5: Estágio dissipativo, praia de Itapuama, litoral sul de Pernambuco.

O transporte longitudinal de sedimentos ocorre em uma estreita faixa formada entre a zona de arrebentação e linha de praia, sendo o principal responsável pela deposição e/ou erosão nas praias devido a grande capacidade de carrear os sedimentos (Figura 6).



Figura 6: Transporte longitudinal, caso de erosão, praia de Enseada dos Corais, litoral sul de Pernambuco.

Entretanto, segundo a CEPEMAR (2004), quando as frentes de ondas se aproximam paralelas à linha de costa (*cross-shore*), em presença de uma fonte pontual de sedimentos, tal como uma desembocadura fluvial, o transporte longitudinal de sedimentos, promovido pelas ondas, irá redistribuir esta carga sedimentar para os dois lados da desembocadura (Figura 7 A). Nos casos em que as frentes de onda formam um ângulo (*longshore*) com a linha de costa, o efluente fluvial irá atuar como um molhe hidráulico, trapeando sedimentos transportados pela deriva litorânea a barlar da desembocadura do rio (Figura 7 B). Este é o chamado “Efeito Molhe”, ou seja, os rios atuam como uma barreira ao transporte de sedimentos, se comportando efetivamente como um molhe. Nesta situação o lado da desembocadura situado a sotamar será alimentado exclusivamente pelos sedimentos de origem fluvial.

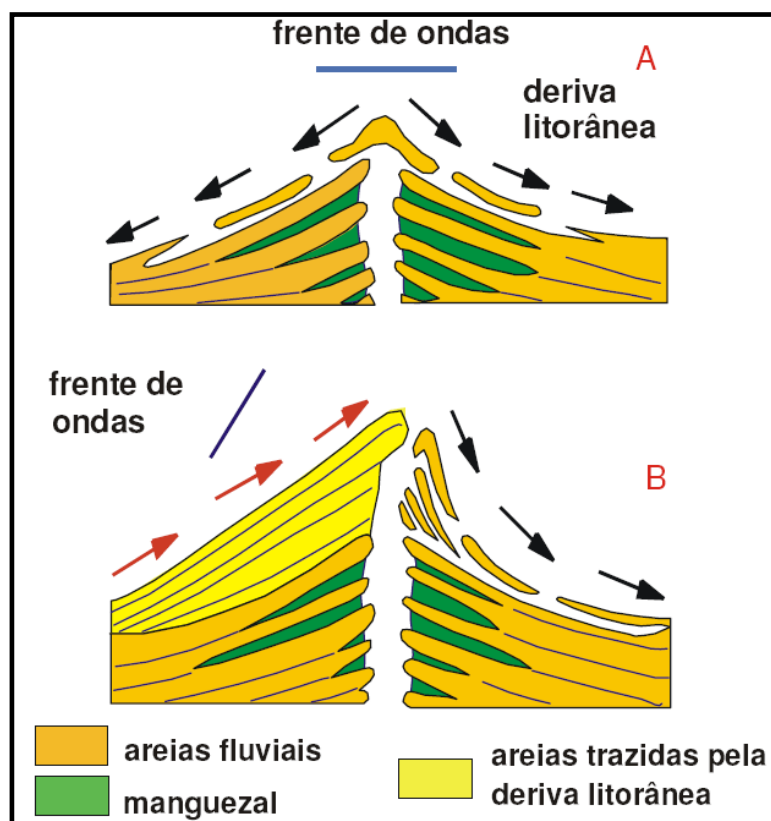


Figura 7: Representação esquemática da dinâmica nas desembocaduras fluviais em ambientes dominados por ondas. A: as frentes de onda (linha azul) se aproximam paralelas à linha de costa. B: as frentes de onda se aproximam obliquamente (linha azul) à linha de costa. As setas pretas representam o transporte/distribuição dos sedimentos de origem fluvial e as setas vermelhas o transporte transversal marinho pela corrente de deriva. (modificado de DOMINGUEZ apud CEPEMAR, 2004).

Caso não exista desequilíbrio no suprimento de sedimentos, as praias migram sazonalmente entre diversos estágios, sendo mais reflectivas no segundo semestre, quando a altura das ondas é maior, e mais dissipativas no restante do ano.

Portanto, o equilíbrio de uma praia depende da relação entre o aporte de sedimentos e a capacidade de transporte litorâneo. Se uma quantidade de areia, maior que a capacidade de transporte das ondas é levada até a costa, a praia tenderá a acumular areia (como, por exemplo, na desembocadura de rios). Caso contrário, se o aporte de sedimentos for menor, a praia tenderá a ser erodida. Alguns fatores externos, como mudanças no nível do mar ou a construção de obras de engenharia que interrompam o transporte litorâneo de sedimentos, podem modificar sensivelmente o balanço sedimentar, e, conseqüentemente, o equilíbrio praial (MAFRA, 2005).

2.1.3.1 – Erosão Praia

A erosão praial é um problema sério em todo o mundo, pois afeta praticamente todos os países com litoral, podendo em alguns casos, alcançar estágios bastante elevados (CUNHA, 2004). De certa forma, a erosão praial é um problema antropogênico no sentido de que se ninguém morasse próximo à linha de costa, este fenômeno não teria importância para o homem (DOMINGUES, 2007).

Este fenômeno, pela complexidade das interações entre diversos fatores naturais e antrópicos, tem tido nos últimos tempos maior relevância no planejamento das atividades de desenvolvimento urbano e principalmente de ordenação da zona costeira, já que a própria obra pode ser afetada por estes fatores ou provocar a intensificação da erosão e gerar perdas para outros setores da costa adjacente (CUNHA, 2004).

O Estado de Pernambuco apresenta ao longo de 187 km de extensão de litoral, trechos vulneráveis a erosão costeira (GREGÓRIO *et al.*, 2004). Atualmente a erosão é um problema verificado praticamente em todas as praias do Estado. Esse fenômeno está associado a interação dos vários fatores citados. A deficiente quantidade de suprimentos de sedimentos que aportam no litoral, está associada, também, a outras questões, dentre elas, a barragens dos rios existentes ou dragagens de “partes de areia” para fins de uso na engenharia civil; ausência de rios de grande porte; pelo fato da plataforma continental ser estreita, dificultando o armazenamento de sedimentos para remobilização; além da ocupação desordenada do ambiente praial, impermeabilizando os cordões e as dunas e dificultando a reconstrução das praias no período de verão.

Segundo MUEHE (2006), dentre as causas citadas que contribuem para o processo erosivo, a interferência antrópica é a mais atuante na medida em que acelera o referido processo não dando chance para que as variáveis naturais encontrem seu equilíbrio.

De certa forma, é difícil qualificar e quantificar de maneira isolada cada um dos fatores que interagem no balanço sedimentar de uma praia, sendo, portando, indispensável o monitoramento da zona litorânea em função das taxas de recuo da linha de costa, a fim de obter resultados que expressem a dinâmica temporal em uma determinada região (DIAS *et al.*, 1994).

2.1.3.2 – Significado das Taxas de Variação da Linha de Costa

Para a gestão ambiental da costa é de grande importância a determinação de sua sensibilidade à erosão, o que permite uma indicação do quanto este ambiente é susceptível a perda da sua praia (SILVA *et al.*, 2005), que é a proteção natural da mesma.

As taxas de recuo da linha de costa constituem um dos melhores marcadores dos índices de erosão costeira quando esta atinge estádios avançados. Na maior parte dos casos, este índice é mais explícito e, freqüentemente, mais confiável do que a avaliação da área perdida ou do volume erodido (DIAS *et al.*, 1994), já que há sempre uma tendência ao equilíbrio.

Segundo MADRUGA FILHO (2004) a análise seqüencial de mapas, cartas ou de fotografias aéreas, torna possível a obtenção das taxas de variação da linha de costa ocorridas durante um considerado intervalo de tempo. Neste trabalho acrescenta-se ainda a análise de Imagens “QuickBird” para determinação do objetivo proposto, sendo mais uma ferramenta de controle.

No entanto, os valores determinados para as taxas médias de variação da linha de costa têm de ser analisados com certa preocupação, pois correspondem à comparação de duas situações diferenciadas no tempo, não refletindo o que se verificou entre essas datas. Para tanto, DIAS *et al.* (1994) orienta que as análises desses valores sejam realizadas seguindo os respectivos cuidados:

a) Dependendo do período analisado: A erosão costeira não é um fenômeno que se processa de forma absolutamente continuada nem a ritmo constante. Efetivamente, há anos em que a erosão é maior e outros em que quase não há

erosão ou se verifica até mesmo acresção. Se entre as situações comparadas a inicial reflete um período imediatamente posterior à ocorrência de grandes temporais em que se processou erosão anormal, as taxas de médias estimadas para o período analisado estão provavelmente subvalorizadas em relação às taxas médias de recuo anual.

b) Dependem da época do ano: Existe, normalmente, uma ciclicidade anual, com erosão na época invernal e acumulação de verão. Se das situações comparadas, uma corresponde ao inverno e a outra ao verão, as taxas médias estimadas podem estar ligeiramente super ou subvalorizadas.

c) Dependem do método: Existem métodos diversificados para determinar as taxas médias de variação da linha de costa que utilizam referências diferentes (berma, praia seca/praias molhadas, linha da maré-cheia etc.) bem como bases diferentes (mapas, fotografias aéreas verticais, ortofotocartas, imagens orbitais etc.). As taxas médias determinadas para o mesmo período utilizando métodos diferentes podem fornecer valores ligeiramente diferentes.

d) Dependem da extensão do período analisado: A análise entre períodos muito longos fornece resultados em que a dispersão de valores é menor. São, no entanto, menos significativos e de interpretação mais difícil. Os valores não exprimem a existência de períodos mais curtos com comportamento eventualmente opostos, nem a aceleração ou desaceleração da erosão ou da acresção.

e) Dependem da escala: A análise de fotografias aéreas, ortofotocartas, imagens orbitais e mapas fornecem resultados mais confiáveis quando essa documentação está representada por escalas grandes.

Apesar das condicionantes citadas acima, os respectivos valores das taxas médias de variação da linha de costa são de grande importância, pois representam um indicativo das tendências evolutivas do litoral, fornecendo subsídios para uma avaliação de possíveis impactos gerados por fatores perturbadores da dinâmica sedimentar costeira, como também auxilia no diagnóstico e gerenciamento de qualquer região litorânea, até porque o custo de uma sequência de registros

sistemáticos é muito elevado, além do fato de que a preocupação sócio-econômico só ocorreu a poucos anos atrás.

2.1.4 – Gerenciamento Costeiro

O gerenciamento costeiro surgiu a partir da necessidade de se administrar os recursos naturais da zona costeira de forma sustentável. ASMUS e KITZMANN (2004) definem Gerenciamento Costeiro como um processo contínuo e dinâmico pelo qual são tomadas decisões e ações para o uso sustentável e para o desenvolvimento e proteção das áreas costeiras e recursos marítimos.

Entretanto, não existe dados consistentes sobre investimentos para a conservação dos ambientes praias, uma vez que estes ocorrem, em geral, a nível particular ou da gestão municipal. Segundo MONTEIRO (2006), as praias brasileiras são áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira do Brasil, estão inseridas no contexto do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), segundo a Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1998 e são consideradas bens da União (Constituição Federal de 1988, artigo 20, inciso IV).

Com a finalidade primordial de estabelecer normas gerais, o PNGC visa a gestão ambiental da Zona Costeira do País, lançando bases para a formulação de políticas, planos e programas estaduais e municipais. Para tanto, busca, entre outros objetivos, a conservação e proteção dos recursos naturais, renováveis e não renováveis; recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais, estuários e lagunares; baías e enseadas; praias; promontórios; cordões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas (BRASIL, 1988).

A implementação do PNGC tem avançado nos últimos anos de forma inconstante e desigual quando considerada as diferentes regiões da costa brasileira. Para ASMUS e KITZMANN (2004), ao tratar de questões políticas relativas à implantação deste, constata-se obstáculos em todos os níveis. Há marcantes diferenças quanto aos padrões de comportamento político, da capacidade de financiamento e sustentação financeira, do acervo e da capacidade técnica das

equipes, diferenças no grau de organização da sociedade, entre outras. Estes fatos têm acarretado problemas para o pleno exercício das ações descentralizadas do PNGC.

Se por um lado, é desejável um desenvolvimento harmônico da implementação do PNGC entre as esferas federais, estaduais e municipais, por outro lado, é importante que o gerenciamento da costa considere, em suas ações, as peculiaridades da realidade local de cada região.

Em Pernambuco, o exercício do Gerenciamento Costeiro, em consonância com o PNGC, foi implementado em 1990 através do Grupo Executivo de Gerenciamento Costeiro – GERCO/PE, que é coordenado pelo órgão ambiental do Estado, a CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (BASTOS *et al.*, 2003) ligado a SECTMA. Tendo por objetivo geral disciplinar e relacionar a utilização dos recursos naturais da Zona Costeira do Estado, visa a melhoria da qualidade de vida das populações locais, a proteção dos ecossistemas costeiros e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, ético e cultural (OLINTO *et al.*, 2008).

Segundo BASTOS *et al.* (2003), um dos primeiros passos para avaliar e orientar o processo de ocupação e uso do solo na zona costeira de Pernambuco, foi a introdução do Decreto Nº 21.972 de 29 de dezembro de 1999 que aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro – ZEEC para o litoral sul do Estado. Este decreto permite a definição de prioridades para a citada região, principalmente no tocante a questão do ordenamento territorial e ambiental de modo a buscar soluções sustentáveis para a exploração turística que, sem dúvida, é um propulsor do desenvolvimento social e econômico da região, mas que exerce uma forte pressão no sentido da degradação ambiental, além, é claro, de onerar os municípios por demandar infra-estrutura e serviços.

Para tanto, a Zona Costeira de Pernambuco foi delimitada e setorizada em três áreas (Figura 8) com base em sua situação geográfica, abrangendo 21 municípios (Tabela 1), distribuídos numa faixa de 187 km, nos quais estão inseridos não só os municípios litorâneos e estuarinos, mas, também, municípios que, pela

contigüidade com os primeiros, exercem e/ou recebem influência marcante dos mesmos ou que integrem região geo-administrativa, parcialmente localizada na faixa costeira do Estado (CPRH, 2008).



Figura 8: Setorização da Zona Costeira de Pernambuco.

Fonte: CPRH, 2008.

Tabela 1: Setorização da Zona Costeira de Pernambuco. Fonte: CPRH, 2008.

Setor	Região	Municípios
1	Norte	Goiana, Itaquitinga, Itapissuma, Itamaracá, Igarassu, Araçoiaba, Abreu e Lima e Paulista.
2	Núcleo Metropolitano	Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Moreno e Camaragibe.
3	Sul	Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande.

Diante do exposto é fato que as atuais carências municipais necessitam de estratégias para apoiar a ZEEC, de modo a dotá-lo de instrumentos específicos para a gestão integrada da orla, principalmente no que se refere a ocupação de espaços públicos de forma irregular.

2.2 – Métodos e Técnicas Aplicados na Avaliação e Determinação da Variação da Linha de Costa

Para atender os objetivos deste capítulo, torna-se necessário, inicialmente, definir e caracterizar a chamada Linha de Costa, como também expor as tecnologias empregadas no presente trabalho para determinar sua posição.

2.2.1 – Definição de Linha de Costa

A importância da definição de linha de costa tem levado inúmeros autores a se debruçar sobre esta questão. Se do ponto de vista físico a linha de costa corresponde simplesmente à linha de interface entre a terra e o mar (Figura 9), a tentativa de delimitá-la torna-se bem mais complicada (OLIVEIRA, 2005).

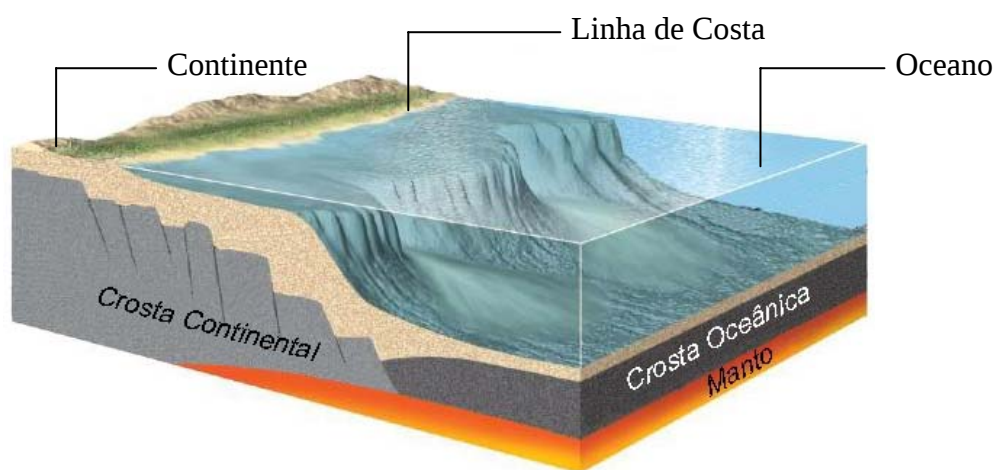


Figura 9: Delimitação visual da linha de costa.
Fonte: Adaptado de LESSA (2007).

Deve-se entender a linha de costa como sendo uma linha móvel, devendo os critérios que a define serem os mais rigorosos, de forma a tornar comparáveis os resultados obtidos. Dependendo do tipo de costa em estudo (costa arenosa, geralmente baixa ou um litoral de dunas, cujas formações que lhe deram origem conduzem a resistências diferenciadas, por exemplo), a posição da linha de costa pode traduzir recuos de apenas milímetros por ano ou da ordem de vários metros. Por isso deve-se ponderar qual o referencial mais adequado, tendo o vista o grau de rigor pretendido.

Para KRAUS e ROSATI (1997) apud OLIVEIRA (2005), as definições padrão em regra utilizadas para definir a linha de costa, num determinado momento são:

1) Linha Média das Preamares Vivas - relacionado com um “datum” mareográfico, correspondente à média de todas as situações de preamar viva que ocorreram num período de 19 anos.

2) Linha de Preamar – não corresponde a um “datum” altimétrico específico, mas tipicamente baseada num dos seguintes critérios geomorfológicos: linha de berma, crista da praia, base de dunas ou linhas definidas por dunas.

3) Fronteira Seco / Molhado – fortemente dependente da própria praia, nível do mar, ondulação, regime de vento etc. Não relacionado com um “datum” vertical específico é derivado da diferenciação de tonalidades visíveis através das fotografias aéreas.

4) Linha de Água – linha de contato entre a areia da praia e o mar aberto/oceano. Também não diz respeito a um “datum” vertical específico, mas está relacionada com uma fase da maré. É uma fronteira móvel, também relacionado com a incidência da ondulação ou outro tipo de movimentos da água do mar junto à costa.

Trabalhos, como o realizado por VITÉM (2004), faz mão de três métodos para realizar a interpretação e vetorização dos elementos da linha de costas, a partir de fotografias aéreas e imagens orbitais:

i) Linha definida por dunas - é feita em função da facilidade de sua determinação, pois esta pode apresentar-se como uma escarpa bem definida. Porém o uso desta linha apresenta desvantagens, pois as mesmas são erodidas mais facilmente do que formadas. Desta forma, dependendo da época da fotografia ou da imagem orbital utilizada, a delimitação da linha da base da duna pode estar sendo mascarada por um evento isolado que tenha ocorrido na costa no período anterior à aquisição das fotografias bem como das imagens. Além disso a duna pode

ser removida pela própria ação eólica, deslocando-se da zona costeira para o continente. Apesar de deixar a “marca” de deposição, não refletirá o evento marinho.

ii) Linha de preamar - pode ser percebida em fotografias aéreas e nas imagens a mudança na tonalidade do tom de cinza na região da berma, em função da quantidade de água. Segundo VITEM (2004), para determinação desta linha, dois métodos são empregados: aumento de contraste e utilização de técnicas de filtragem através de programas para tratamento de imagens, sendo possível a aplicação desta técnica, pois teoricamente as imagens possuem 256 valores de tons de cinza distribuídos entre o preto e o branco (representados de 0 a 255, respectivamente), o que permite extrair informações da imagem a partir dos valores de reflectância, originada por todos os tipos de materiais naturais e sob as mais diversas condições de iluminação.

iii) Linha de vegetação – caracterizada por ser menos passível de alterações, quando comparada com os anteriores, geralmente é definida pelo nível máximo que a maré alcança. Apresenta uma melhor reflectância nas imagens, facilitando a interpretação e demarcação. Entretanto são geralmente alteradas pelas marés ou até mesmo pela presença antrópica na região (desmatamento).

Além destes métodos, existem elementos que dificultam a definição da posição da linha de costa, como: variações de longo prazo (cíclicas ou aleatórias), ou de curto prazo (relacionados a episódios extremos). Os processos de medição afetam sobretudo o rigor posicional bem como a própria interpretação geomorfológica ou visual que se faz dessas mesmas linhas. No fundo, existe uma variação entre os fatores relacionados com os processos físicos ou características do local e os fatores derivados dos processos de medição e interpretação.

2.2.2 – Determinação da Variação Costeira com base em Tecnologias Espaciais

Ao tratar de tecnologias espaciais em estudos de monitoramento costeiro, BATISTA *et al.* (2007) e TREBOSEN *et al.* (2005) demonstram, em seus estudos, que é possível mensurar, em detalhe, qualitativa e quantitativamente, diferentes

formas progradacionais e retrogradacionais, a partir de tecnologias espaciais multi-temporais, possibilitando o conhecimento preciso da disposição geomorfológica, expondo informações ligadas a intensidade, abrangência e história evolutiva dos fenômenos costeiros.

2.2.2.1 – Análise Temporal de Ortofotocartas e Imagens “QuickBird”

Os mais variados métodos e técnicas têm sido usados para determinar a posição da linha de costa e para caracterizar a dinâmica das áreas costeiras. Desde cedo que a utilização de séries históricas de fotografias aéreas e ortofotocartas teve forte aceitação por todos os que se dedicam a estudos da dinâmica costeira, fruto das potencialidades inerentes a uma imagem, por registrar para um determinado momento e espaço as características geomorfológicas do litoral (OLIVEIRA, 2005).

No caso particular das ortofotocartas, por ser tratar de uma fotografia aérea, com informações inerentes a um mapa, tais como curvas de nível, reticulado, dados marginais, entre outras, restituída de forma a corrigir as distorções decorrentes de relevos e da projeção cônica inerente ao processo fotográfico, ou seja, transformada em uma projeção ortogonal (CEPD, 2006), proporciona a observação de alterações temporais ocorridas entre distintos anos, sendo a sua principal vantagem registrar e fornecer, uma série de informações tanto no aspecto qualitativo como quantitativos, dependendo da finalidade, maiores, quando comparadas com fotografias aéreas tradicionais. Desta forma, com registros aerofotogramétricos seqüenciais assim tratados, mudanças na linha de costa podem ser detectadas com precisão e um planejamento costeiro pode então ser efetivado em função das taxas de acreção e erosão local (VINTÉM, 2004).

Ao tratar de imagens orbitais, a metodologia aplicada às ortofotocartas, também poderá ser adotada para estas, bastando para tanto a adoção de imagens de alta resolução, como as imagens “QuickBird”. As imagens deste satélite apresentam uma resolução espacial no modo pancromática de 0,61m (*nadir*) ou no modo multiespectral de 2,44m (*nadir*) desta forma, uma análise seqüencial com este tipo de imagem para avaliar a evolução da linha de costa resulta em dados bastante precisos.

Segundo DUARTE (2002), utilizando-se destas ferramentas, é possível aferir a variação da linha de costa entre as sucessivas séries analisadas, pois estas mostrarão os cenários de erosão ou acresção ocorridos no intervalo de tempo considerado.

2.3 – Fotogrametria

2.3.1 – Definição e Aplicação

Segundo a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, a fotogrametria pode ser definida como a arte, ciência e tecnologia de obter informações reais de objetos físicos e do meio ambiente, através de processos de gravação, mensuração e interpretação de imagens fotogramétricas (WOLF e DEWITT, 2000).

Segundo GONÇALVES (2006), nesta definição estão inclusas duas áreas distintas da fotogrametria:

(a) Fotogrametria Métrica: consiste em medições dimensionais precisas a partir de fotografias, cuja finalidade é a determinação de pontos. Esta permite, assim, obter informações de caráter quantitativo, como: distâncias, ângulos, áreas, volumes, elevações, como também classificar a forma de objetos.

(b) Fotogrametria Interpretativa: de caráter qualitativo, trata principalmente de reconhecer e identificar objetos e julgar sua significância através de análises sistemáticas de fotografias.

A fotogrametria encontra seu maior campo de aplicação na elaboração de mapas em colaboração com outras ciências como a Geodésia e a Cartografia. Neste campo, as imagens fotográficas são utilizadas, entre outros, para mapear temas do objeto fotografado, tais como: rede de drenagem, florestas, culturas, rede viária e feições geológicas (ANDRADE, 1998).

A elaboração de produtos cartográficos, mapas e cartas, a partir de fotografias aéreas, torna-se possível através de um processo denominado **restituição fotogramétrica**, que é realizado através de instrumentos conhecidos como restituidores. A restituição fotogramétrica, que anteriormente era realizada apenas com o traçado direto dos elementos gráficos em uma base de papel, hoje também é realizada com técnicas de computação gráfica, melhorando a precisão, qualidade e rapidez na elaboração de uma carta ou mapa. Assim, a fotogrametria passou de uma fase analógica, onde eram usados pesados equipamentos ótico-mecânicos, para uma fase analítica, onde essas partes mecânicas são substituídas por componentes eletrônicos e modelos matemáticos (RAMOS *et al.*, 2004).

Atualmente a fotogrametria encontra-se na fase digital, tendo como grande inovação a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados. Os aparelhos atualmente empregados também mudaram, sendo chamados de estações fotogramétricas digitais (BRITO e COELHO, 2002). A fotogrametria digital caracteriza-se por ser um processo em que a entrada dos dados é digital, o processamento é analítico (computador) e a saída de dados é digital (SILVEIRA, 2005).

2.3.2 – Resumo Histórico

O desenvolvimento da fotogrametria ocorreu por volta de 1850, seguindo quatro ciclos de desenvolvimento (KONECNY apud BURTCH, 2008). Cada um desses períodos teve duração média de 50 anos. Para BRITO e COELHO (2002), estes ciclos incluem: fotogrametria pioneira, fotogrametria analógica, fotogrametria analítica e fotogrametria digital.

2.3.2.1 – Fotogrametria Pioneira (1850 ~1900)

Representa o período básico de planejamento para concepção de idéias sobre a ciência fotogramétrica (BURTCH, 2008).

De forma a enriquecer a presente dissertação, torna-se importante tratar dos primeiros estudos, fundamentais para o desenvolvimento estrutural da fotogrametria, como, por exemplo, os estudos, em 1826 do francês Joseph Nicéphore Niépce, que conseguiu registrar uma imagem numa chapa de estanho polida e revestida com betume da Judéia pulverizado numa solução com petróleo branco. Em 1837, Louis-Jacques Daguerre consegue imprimir imagens sobre papel, muito nítidas, utilizando sais de prata, vapor de mercúrio e hipossulfito de sódio (ANDRADE, 1998).

Passados poucos anos após a divulgação da descoberta da fotografia em 1839, surgiram propostas, como a do francês Aimé Laussedat em 1851, em utilizar fotografias para auxiliar a confecção de mapas, por esse motivo ele é considerado como o “Pai da Fotogrametria”. Em 1854, com seu artigo *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques*, ele assentou sobre bases sólidas, as incipientes idéias fotogramétricas, fazendo a técnica ser estudada de maneira científica (ROCHA *et al.*, 2003).

Com o advento da fotografia e a habilidade de se adquirir fotos aéreas, houve interesse na aplicação desta tecnologia para uso militar. Em 1855, Gaspar Felix Toumachon Nadir utilizou um balão a 80 m de altura para adquirir fotos aéreas. Devido ao sucesso da experiência, em 1859 o imperador Napoleão ordenou que Nadir obtivesse fotos de reconhecimento para que pudesse realizar estratégias de guerra na Batalha de Solferino, batalha esta que resultou na vitória das tropas francesas de Napoleão sobre o exército austríaco. E em 1893, o Dr. Albert Meydenbaur empregou pela primeira vez o termo “Fotogrametria” (OLIVEIRA, 2002).

2.3.2.2 – Fotogrametria Analógica (1901 ~ 1950)

Inicia-se com a construção de um instrumento chamado estéreo-comparador, pelo alemão Dr. Carl Pulfrich (ROCHA *et al.*, 2003). Segundo BRITO e COELHO (2002), a construção deste, facilitou surpreendentemente o trabalho dos usuários, graças a substituição dos inúmeros cálculos matemáticos por aparelhos ópticos-mecânicos.

Após a construção do estéreo-comparador por Pulfrich, surgiram vários resultados, novos princípios e novos instrumentos. Entretanto, as estações de tomada de fotografias ainda estavam no solo, com todas as limitações decorrentes.

Segundo BRITO e COELHO (2002), apesar dos desenvolvimentos já conquistados, somente com a invenção do avião, a situação da fotogrametria viria a mudar. O brasileiro Alberto Santos Dumont em 23 de outubro de 1906 deu o primeiro passo para isto, quando em experiência vistoriada pela Comissão Científica do Aeroclube da França, alçou vôo com o 14-bis. A partir deste momento surgia a possibilidade de obter fotografias aéreas muito mais amplas, tornando os trabalhos menos onerosos (ROCHA, 2003).

Em 1910, Eduard Dolezal, funda na Austrália a *International Society for Photogrammetry* (ISP), atual *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) (BRITO e COELHO, 2002).

Em 1911, o austríaco Theodore Scheimpflug cria um método bem sucedido de retificação de fotografias aéreas, iniciando todo um processo de utilização de tais fotografias para mapeamento de extensas superfícies. Neste momento, os retificadores analógicos passam a ser largamente utilizados, sendo posteriormente substituídos pelos restituidores analógicos em 1921, com a criação do chamado Autocartógrafo de Hurgershoff pelo professor Reinhard Hurgershoff, permitindo assim, a visão estereoscópica, ou seja, um par de fotografias aéreas com áreas de sobreposição.

Desde então, houveram outros desenvolvimentos, a fim de aperfeiçoar a tecnologia dos restituidores, como os construídos por Robert Fever, na fábrica Galus-Fever, restituidor este, capaz de produzir documentos denominados de ortofotos. Em 1945, outro equipamento foi elaborado por Harry T. Kelsh, e permitia maior economia e praticidade aos processos fotogramétricos. No ano de 1953 o fotogrametrista Russel Bean, do *Geological Survey* dos EUA, a fim de aperfeiçoar a técnica de obtenção de ortofotos, apresentou um instrumento chamado de Ortofotoscópio (ROCHA, 2003).

Segundo BRITO e COELHO (2002), em conjunto com o desenvolvimento dos equipamentos citados, surgiram câmaras fotográficas mais específicas para esta tarefa, chamadas câmaras métricas. As mesmas dispunham de mecanismos para imprimir, nas fotos, informações relevantes quanto ao sistema de coordenadas de imagem (marcas fiduciais), aumentando ainda mais a precisão das medições efetuadas.

Findando a era auge da fotogrametria analógica, no fim da década de 1980, os Restituidores de Projeção Ótico-Mecânica, começaram a operar hibridamente com o auxílio de computadores na coleta de coordenadas espaciais (X, Y, Z) no lugar de serem utilizados seus “*plotteres*” mecânicos, precisos, mas com muitos problemas de falhas, como o borrado das canetas, por exemplo. Este tipo de aparelho fotogramétrico dominou de 1960 a 1998, e muitos funcionam até hoje (RIBEIRO, 2002).

2.3.2.3 – Fotogrametria Analítica (1951~ 1990)

Com o aprimoramento dos métodos computacionais, pôde-se começar as realizações efetivas em Fotogrametria Analítica, possibilitando a utilização de grande massa de dados (ROCHA, 2003). Ou seja, a grande quantidade de cálculos necessários, que havia sido substituído pelos aparelhos mecânicos, passou a poder ser executada computacionalmente.

Em 1957, o finlandês Uki Helava desenvolve o conceito de restituidor analítico utilizando servo-mecanismos para medir as coordenadas das marcas fiduciais nas imagens. Computadores realizavam todos os demais cálculos, simplificando bastante o processo final (BRITO e COELHO, 2002).

O grande passo deste instrumento reside no fato de determinar as coordenadas terrestres de qualquer ponto através de processos analíticos, principalmente através das chamadas “Equações de Colinearidade” e “Equações de Coplanaridade”, ao invés de ser uma solução mecânica. Com estes restituidores a Aerotriangulação e a própria restituição começaram a introduzir nos seus modelos matemáticos os elementos de distorção da câmara fotogramétrica; não só as marcas

fiduciais e a distância focal calibrada, mas funções matemáticas que expressam qual o deslocamento sofrido por um ponto na sua posição x/y do diapositivo (RIBEIRO, 2002).

No ano de 1980, o restituidor analítico AC1 da Wild foi introduzido no mercado, enquanto isso, a Kern também lançava a linha DSR, iniciada no aparelho DSR1. A competição entre as duas empresas resultou pelo lado da Wild, no lançamento da série BC. Neste mesmo período, a Wild continuava o desenvolvimento de câmaras aéreas culminando no aparecimento da RC30, em 1984. Em 1988, a empresa Wild-Leitz incorporou a Kern, formando no ano de 1990, a Leica, fundamentando um novo rumo para o mercado fotogramétrico (ROCHA, 2003).

2.3.2.4 – Fotogrametria Digital (1990 – Dias de hoje)

Durante os anos noventa, entretanto, uma grande revolução no mundo da fotogrametria foi vista. Os primeiros instrumentos totalmente digitais foram criados devido aos avanços da tecnologia computacional, que permitiram a manipulação em tempo real de grandes arquivos matriciais de imagens (FILHO, 2002).

Segundo ROCHA (2003), pode-se considerar que a chamada Fotogrametria Digital nasce a partir do momento em que a entrada de dados passou a ser digital, quer pela digitalização (*scanning*) das fotografias, quer pela aquisição direta por câmaras digitais que gravam as informações radiométricas diretamente sob a forma de dígitos binários (pixels).

Os aparelhos atualmente empregados são chamados de estações fotogramétricas digitais, ou seja, estações de trabalho inteiramente voltadas para a execução digital de tarefas fotogramétricas (BRITO e COELHO, 2002). Um sistema como este, em geral, é composto de:

- Monitor(es) de vídeo;
- Dispositivo de visão estereoscópica (óculos, monitores especiais etc.);
- Placa gráfica ou placa de vídeo especial;

- CPU geral;
- Periféricos de Entrada/Saída (teclado, *mouse*, *scanner*, mesa digitalizadora, *plotter* e/ou impressora);
- Dispositivos de medição estereoscópica (*trackball*, topo-mouse etc);
- Módulos de *software* dedicado às operações fotogramétricas.

Tal tecnologia começou a ser utilizada em larga escala a partir de 1995, tendo chegado ao Brasil principalmente a partir de 1998. Hoje em dia, pode-se dizer que a maior parte das instituições produtoras de dados cartográficos a emprega largamente, ou pretende fazê-lo no mais curto período de tempo possível. A utilização e domínio da mesma se torna, então essencial nos órgãos formadores de profissionais habilitados a trabalhar junto à produção cartográfica atual (FILHO, 2002).

De modo a balizar o leitor sobre os três ciclos da fotogrametria (analógico, analítico e digital), desde a entrada dos dados até a saída, apresenta-se a tabela 2:

Tabela 2: Resumo do histórico da Fotogrametria.
Fonte: Adaptado de BRITO e COELHO (2002).

FOTOGRAMETRIA	ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
Analógica	Foto analógica (em filme)	Analógico (opto-mecânico)	Analógica (<i>scribes</i> /fotolitos) no passado ou digital (<i>Computer Aided Desing</i> - CAD, por exemplo) no presente.
Analítica	Foto analógica (em filme)	Analítico (computacional)	Analógica (<i>scribes</i> /fotolitos) no passado ou digital (<i>Computer Aided Desing</i> - CAD, por exemplo) no presente.
Digital	Imagem digital (obtida de câmara digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida a um <i>scanner</i>).	Analítico (computacional)	Digital

2.3.3 – Obtenção de Imagens Fotogramétricas

A obtenção de imagens fotogramétricas é um objeto de estudo fundamental, pois a fotografia é a principal base de dados da fotogrametria (SILVEIRA, 2005). Em geral, as imagens utilizadas em fotogrametria são aéreas, porém, podem ser terrestres (para uso em fotogrametria arquitetônica ou mesmo na aquisição de imagens obliqüas de determinadas feições irregulares). No decorrer do texto será dada prioridade às câmaras fotogramétricas aéreas, pois os dados utilizados nesta dissertação são produtos das mesmas.

2.3.3.1 – Câmaras Aerofotogramétricas

Segundo SANTOS (2008), o marco inicial da evolução das câmaras aéreas se deve ao desenvolvimento do processo fotográfico e posteriormente à invenção das aeronaves. Entre os muitos equipamentos utilizados em fotogrametria, estas câmaras são peculiares quando comparadas com outras, não só pelas suas dimensões, mas por serem altamente fiáveis (BERBERAN, 2003).

Para ANDRADE (1998), as câmaras fotogramétricas têm por finalidade prover imagens com estabilidade geométrica. Esta confiabilidade das informações é que torna possível o processo de calibração, ou seja, a determinação dos parâmetros geométricos que participam do modelo matemático que relaciona dimensões do objeto fotografado com a sua imagem fotográfica.

Os maiores desenvolvimentos que ocorreram ou estão a ocorrer nas câmaras fotogramétricas aéreas, têm a ver com o aumento do poder de resolução, o fato das lentes estarem em termos práticos livres de distorções, a compensação do “arrastamento” provocado pelos movimentos do avião e a integração da tecnologia GPS (Global Positioning System) ao sistema (BERBERAN, 2003).

2.3.3.2 – Resoluções das Imagens Fotogramétricas Analógicas

A resolução é a capacidade de uma imagem guardar informações. Toda imagem possui quatro resoluções básicas, ou seja, quatro parâmetros básicos de avaliação de sua capacidade de aquisição de dados. Estas resoluções são denominadas: resolução espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal (SILVEIRA, 2005).

A resolução espacial indica qual o menor tamanho de um objeto que é distinguível em uma fotografia. Por exemplo, a resolução de 1 metro indica que objetos de 1 ou mais metros podem ser distinguidos. Objetos menores não serão visualizados (SILVEIRA, 2005). Esta resolução é determinada pelo tamanho dos grãos de brometo de prata da emulsão. Quando se considera o filme fotográfico holográfico, quanto maiores os grãos, menor será a resolução espacial (BRITO e COELHO, 2002).

Em filmes fotográficos, o poder de resolução pode ser definido como sendo a capacidade que uma emulsão fotográfica tem em gravar distintamente pormenores finos. Para medir a resolução espacial em laboratório, tiram-se fotos contra um alvo composto de inúmeras linhas brancas sobrepostas sobre um fundo preto (Figura 10). A resolução espacial será determinada como o número máximo de linhas por milímetro (pl/mm) que se consegue distinguir numa imagem (BERBERAN, 2003).

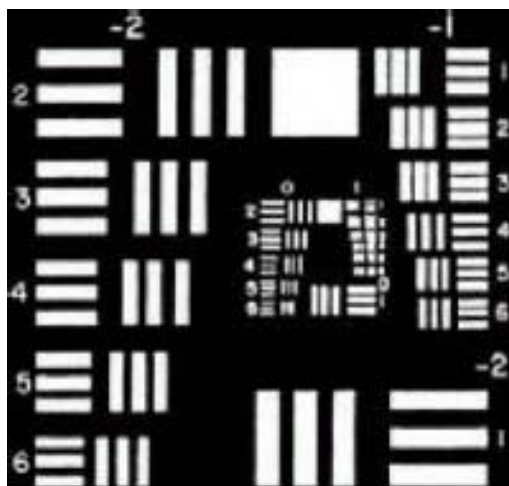


Figura 10: Alvo para determinação da resolução espacial.
Fonte: SILVEIRA (2005).

Convém ressaltar que estes valores obtidos em laboratório, não correspondem ao real, uma vez que em um vôo incorre inúmeros outros problemas que afetam a resolução espacial final. Para obter uma medida mais realista, pode-se realizar um vôo contra um grande alvo com padrões semelhantes ao utilizado em laboratório (BRITO e COELHO, 2002).

Segundo CENTENO (2004), a resolução radiométrica está associada à sensibilidade do sensor, ou seja, a capacidade de se detectar as menores variações possíveis de incidência de energia sobre o filme. Por exemplo, um filme que seja capaz de registra apenas 2 tons: preto e branco, tem resolução radiométrica menor que um filme que seja capaz de registrar várias nuances de cinza dentro da mesma faixa de exposição (BRITO e COELHO, 2002).

A resolução espectral está associada ao número de faixas e a respectiva espessura das faixas espectrais nas quais a radiação eletromagnética é medida (CENTENO, 2004). Alguns autores como SILVEIRA (2005) fazem uso da expressão “bandas” em lugar de faixas, mas com o mesmo significado. Quanto maior o número de faixas e menor a largura delas, maior é a capacidade do sistema registrar diferenças espectrais entre objetos. Para BRITO e COELHO (2002), um filme pancromático, por exemplo, possui a mesma largura de faixa do filme colorido, porém em apenas uma faixa. Já o filme colorido possui a mesma largura de faixa do filme pancromático, porém em três faixas diferentes: vermelho, azul e verde. Como o filme colorido tem três bandas, e a banda é mais estreita que o pancromático (pois este equivale às três juntas), pode-se dizer que o filme colorido tem uma maior resolução espectral que o pancromático.

A resolução temporal de um sistema se refere ao mínimo intervalo de tempo em que um mesmo sensor, adquire duas imagens consecutivas de uma mesma área (CENTENO, 2004). No caso de fotografias analógicas, esta resolução está relacionada com o tempo de revisita da plataforma na qual a câmara está montada.

2.3.3.3 – Aquisição de Imagens Fotogramétricas Digitais

Segundo BRITO e COELHO (2002), existe, basicamente, dois tipos de dados digitais: vetorial e matricial.

A imagem vetorial é caracterizada pela delimitação de objetos pelos pontos que os determinam. Estes diferem das imagens digitais porque, ao invés de expressarem seus objetos através de células (*pixels*) de coloração constante, os representam por suas coordenadas inicial e final, levando a quatro tipos básicos de objetos: pontos, linhas, multilinhas e áreas (Figura 11).

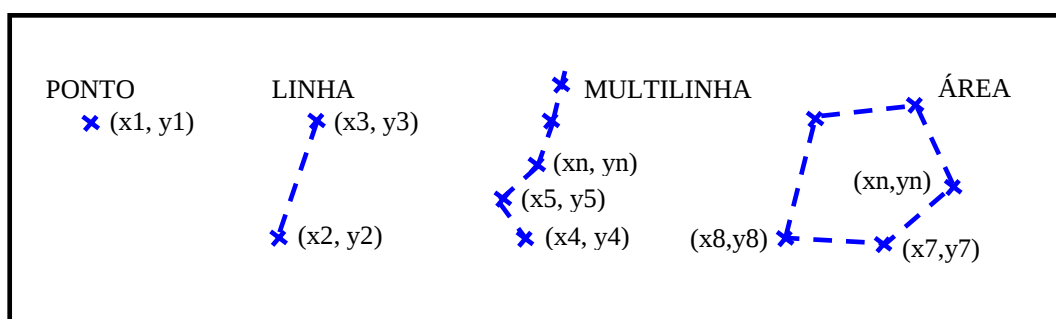


Figura 11: Tipos básicos de objetos vetoriais.
Fonte: Adaptado de BRITO e COELHO (2002).

Na fotogrametria, este tipo de imagem é mais utilizado na restituição digital, através do uso de sistemas CAD (*Computer Aided Desing*) com suporte a sistemas de coordenadas cartográficas. Este sistema permite atribuir características aos objetos, como cor, espessura, estilo e níveis (*layers*).

Uma imagem matricial é composta por uma matriz bidimensional de pixels dispostas em um sistema de coordenadas Coluna e Linha (C,L), ao qual para cada coordenada é atribuído um valor de cinza (Figura 12) ou as três componentes RGB, quando colorida. Um pixel (*Picture x Element*) representa o menor elemento de um dispositivo de exibição, ou seja, é o menor ponto que representa uma imagem digital. Um conjunto de milhares de pixels forma uma imagem completa (SANTOS, 2008).

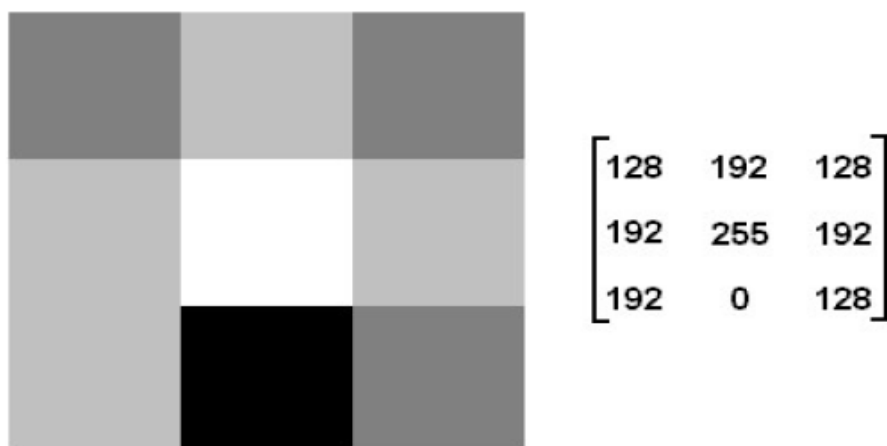


Figura 12: Distribuição matricial (à direita) equivalente a um conjunto numérico, representando os níveis de cinza dos pixels (à esquerda).

Fonte: Adaptado de BRITO e COELHO (2002).

A aquisição de imagens digitais pode ser feita, a partir da digitalização matricial de uma imagem analógica, obtida com uma câmara convencional, em um *scanner* de mesa convencional ou *scanners* fotogramétricos, apresentando este último, alta resolução e precisão geométrica, adequados à produção de imagens estáveis com a qualidade requerida pela precisão de trabalhos fotogramétricos (MILLS e NEWTON apud AMORIM, 2000). Como também, pode ser feita diretamente a partir do registro dos valores radiométricos amostrados pelos sensores CCD's (*charge coupled devices*) localizados no plano da imagem de uma câmara digital que foca determinado objeto (BERBERAN, 2003).

A digitalização matricial envolve vários tipos de *scanner*, desde o mais comum em informática, *scanners* de mesa, até os mais precisos, *scanners* fotogramétricos, utilizados em fotogrametria digital.

Na digitalização em *scanner* de mesa (Figura 13), o documento a ser digitalizado é colocado sobre a mesa de vidro do *scanner*, de forma que a matriz de CCD's percorra a imagem para frente e para trás, gravando os valores em forma de números digitais dos pixels que compõem o arquivo digital.



Figura 13: *Scanner* fotográfico de mesa.
Fonte: <http://welcome.hp.com/country/br/pt/welcome.html>, 2007.

Já nos *scanners* utilizados em fotogrametria digital (Figura 14), geralmente chamados de *drum scanners* ou *scanners* a vácuo. O documento é posicionado em um cilindro de vidro (caso dos *drum scanners*), ou colocado a vácuo em uma superfície lisa (caso dos *scanners* a vácuo). No centro do sistema, há um sensor que separa a luz refletida pelo documento em três raios. Cada raio é enviado a um filtro colorido onde a luz é transformada em um sinal elétrico correspondente, de modo semelhante aos *scanners* de mesa (BRITO e COELHO, 2002).



Figura 14: *Drum Scanner*.
Fonte: www.adrformacion.com/.../leccion3/tutorial1.html, 2007.

No caso da aquisição direta de imagens digitais, algumas vantagens sobre as fotografias convencionais são notadas, principalmente o fato de não necessitar da conversão analógico-digital, isto é, não se introduzem as distorções provocadas pelo *scanner* (AMORIM, 2000). Este tipo de imagem é obtido através de câmaras digitais (Figura 15) dotadas de sensores fotoelétricos, aqui chamados de CCD's, que transformam a informação luminosa em elétrica. Esta informação é armazenada em forma de dígitos binários em uma memória digital presente na mesma. O formato dos dígitos segue padrões de formatos de imagens de computador, tais como bitmap e JPEG. Assim, somente é preciso passar a informação desta câmara para um computador, através de uma interface de comunicação (SILVEIRA, 2005).

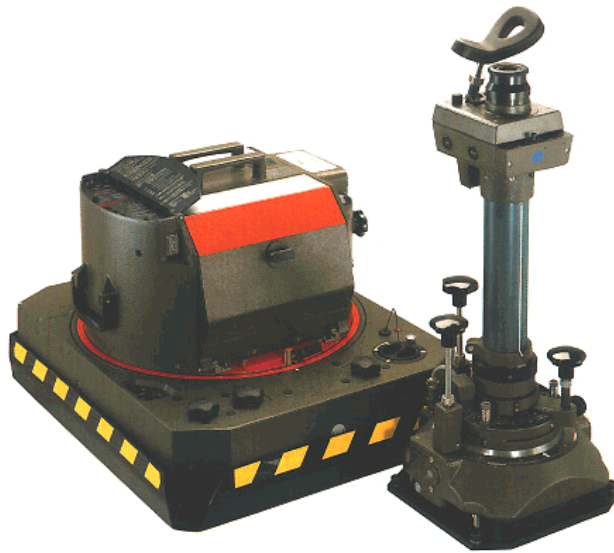


Figura 15: Câmara aérea WILD RC 30.

Fonte: <http://www.aerialsurvey.com/AdvertImages/RC30t.bmp>, 2007.

2.3.3.4 – Resoluções das Imagens Fotogramétricas Digitais

Assim como delineadas nas imagens fotogramétricas analógicas, as quatro resoluções se aplicam também às imagens fotogramétricas digitais, porém, com algumas variações conceituais particulares à este tipo de imagem, dada a natureza distinta entre elas.

Segundo SILVEIRA (2005), a resolução espacial em imagens digitais está relacionada diretamente com o tamanho do pixel. Por exemplo: uma imagem de 200 x 200 pixels, equivale, no terreno, a uma área de 200 x 200 metros. Quando cada pixel equivaler a um quadrado de 1m x1m no terreno.

Como dentro de um pixel só pode haver uma coloração, pode-se dizer, de modo geral, que esta equivale a uma composição das tonalidades dos diferentes objetos existentes naquela área. Portanto, o tamanho do pixel, está diretamente relacionado com a capacidade de discernir objetos no terreno, ou seja, quanto menor o tamanho do pixel, maior é a resolução espacial da imagem digital (BRITO e COELHO, 2002).

A resolução radiométrica, como nas imagens fotogramétricas analógicas, indica a capacidade de distinguir diferentes tons dentro de uma faixa de uma banda eletromagnética. Para as imagens digitais, essa resolução é expressa pela quantidade de bits utilizados para armazenar os dados correspondentes a um pixel (CENTENO, 2004). Como o sistema utilizado em informática é o binário, a quantidade de tons de uma imagem digital está relacionada a uma potência de 2. Por exemplo: uma imagem de 256 tons de cinza, ou 2^8 cores, possui 8 bits de informação por pixel (SILVEIRA, 2005). Na prática, isso quer dizer que o número digital relacionado a cada pixel deve ser expresso por oito dígitos binários, de modo a permitir 256 variações numéricas diferentes de tons de cinza. Uma imagem de 1 bit por pixel, por exemplo, só pode exprimir 2^1 variações de tonalidades de cinza, ou seja, tons de preto e branco (BRITO e COELHO, 2002).

Esta resolução está diretamente relacionada com o tamanho final de uma imagem. Segundo SILVEIRA (2005), para se calcular o tamanho que uma imagem (TI) digital ocupa em bytes, utiliza-se a equação (1.0).

$$TI = \frac{\text{NÚMERO DE COLUNAS} \times \text{NÚMERO DE LINHAS} \times \text{RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA EM BITS}}{8} \quad (1.0)$$

8

Exemplificando: uma imagem de 100x100 com resolução radiométrica de 8 bits ocupa 10.000 bytes, ou seja, 9,77 Megabytes.

Segundo BRITO e COELHO (2002), as outras duas resoluções (espectral e temporal) funcionam de modo semelhante ao das imagens analógicas.

2.3.4 – Visão Binocular e Estereoscópica

Segundo ANDRADE (1998), o processo da visão estereoscópica, ou seja, obtida através do registro de imagens de objetos, é uma reprodução da visão estereoscópica natural ou visão binocular.

Segundo GONZÁLES (2004), de maneira natural, nosso mecanismo de visão é estéreo, e por isso, somos capazes de observar através da visão binocular as diferentes distâncias e volumes em torno de nós. Nossos olhos, devido a sua separação, obtêm duas imagens com pequenas diferenças entre elas, o que denominamos de disparidade. As diferenças entre as imagens geradas pelo olho direito e esquerdo (Figura 16) são processadas pelo cérebro nos dando uma noção de profundidade e, com isto, tem-se a idéia de imersão em um ambiente com objetos posicionados a distâncias diferentes (SISCOOTTO *et al.*, 2004).

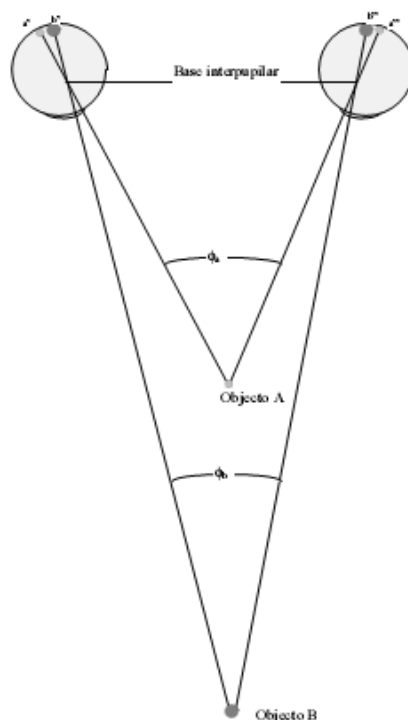


Figura 16: Fusão de duas imagens planas distintas em perspectivas diferentes, resultando numa percepção em 3D do cenário. Fonte: SISCOOTTO *et al.* (2004).

A diferença na posição relativa de cada imagem ocorre apenas segundo a direção definida pelos centros de perspectivas e tem o nome de paralaxe.

2.3.4.1 – Paralaxe Estereoscópica

Paralaxe estereoscópica é definida como o deslocamento aparente das posições relativas de imagens de objetos estacionários causados por uma mudança do ponto de vista (BRITO e COELHO, 2002).

Segundo SILVEIRA (2005), se um observador tomar como referência a quina de uma sala (Figura 17), estender seu polegar apontando para cima entre a quina e seus olhos e o visualizar alternadamente, com um só olho aberto, irá perceber que o alinhamento entre seu dedo e a quina da parede irá se deslocar horizontalmente. Este deslocamento aparente entre o dedo e a quina é chamado de paralaxe estereoscópica.

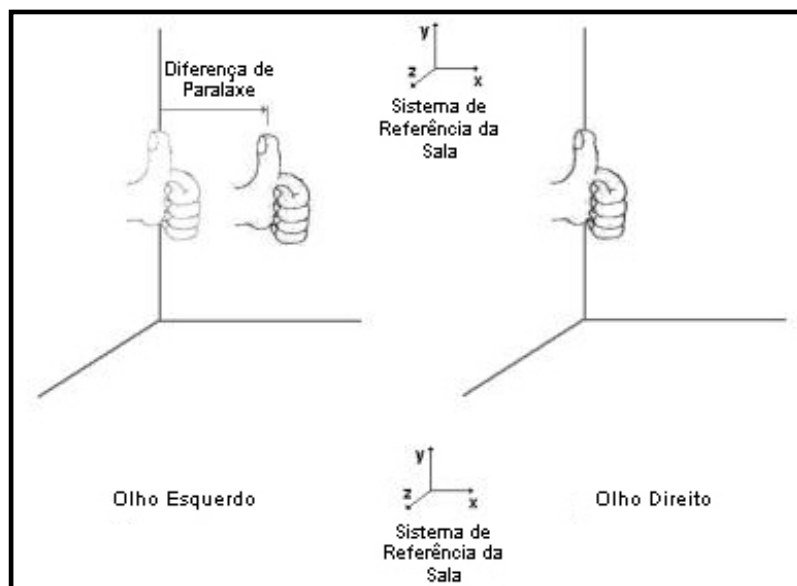


Figura 17: Diferença de paralaxe em x.
Fonte: SILVEIRA (2005).

O deslocamento aparente somente acontece paralelo à linha reta que liga o centro de um olho ao outro. Por exemplo, se o observador inclinar 45 graus para a esquerda (Figura 18) e repetir a experiência ter-se-á paralaxes horizontal e vertical, em relação ao sistema de referência da parede. Entretanto no sistema do observador continuará havendo somente paralaxe horizontal.

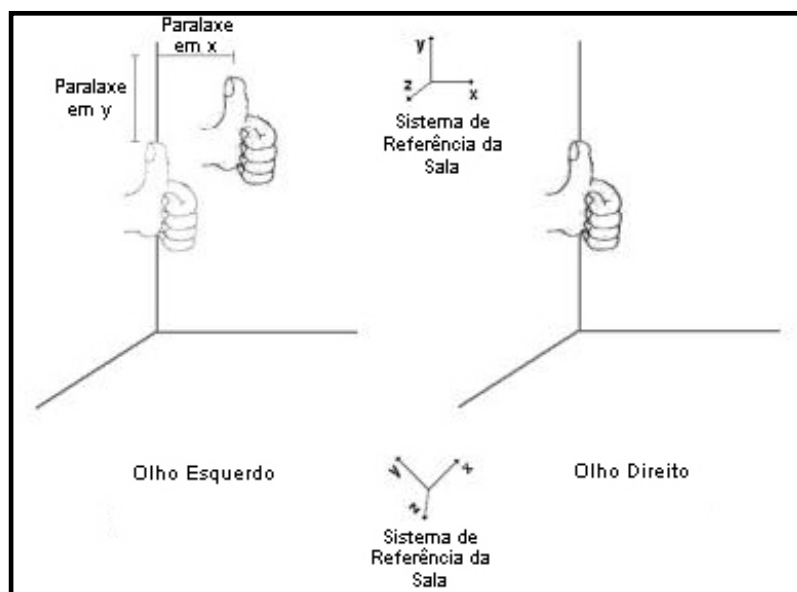


Figura 18: Diferença de paralaxe em x e y.
Fonte: SILVEIRA (2005).

Em fotogrametria, para enxergar fotografias aéreas em três dimensões usamos o mesmo processo de fusão estereoscópica mental. Ela se fundamenta no princípio de que, ao observar simultaneamente duas imagens que foram tiradas da mesma cena, mas de pontos diferentes, fazendo com que cada imagem seja vista por um olho, o resultado seja a percepção da profundidade ou terceira dimensão (SOUZA, 2002).

Portando, a estereoscopia está ligada à capacidade de enxergar em três dimensões, isto é, de perceber a profundidade. Em fotogrametria, para se obter tal sensação é necessário o uso de técnicas e dispositivos estereoscópicos, cujo princípio de funcionamento é o oferecimento de imagens distintas aos olhos, de modo que o observador obtenha a desejada sensação (SISCOOTTO *et al.* 2004).

2.4 – Imagens Orbitais

2.4.1 – Satélites

A palavra satélite é de origem latina, derivada de *satelles* ou *satellit*. Na língua portuguesa essa palavra é definida como: corpo que gravita em torno de um astro de massa predominante, em particular, ao redor de um planeta (MOREIRA, 2004).

Ainda segundo o autor citado, os satélites podem ser classificados em duas categorias: os naturais e os artificiais.

- (a) Satélites Naturais – São corpos celestes que orbitam outro astro de massa maior. Como por exemplo, a Lua, satélite da Terra.
- (b) Satélites Artificiais – São engenhos desenvolvidos pelo homem, que giram em torno de planetas (dentre eles a Terra) ou até mesmo um satélite natural.

O desenvolvimento dos satélites artificiais teve início na década de 50, ou seja, a partir da segunda metade do século XX, quando no ano de 1957, a imprensa de todo mundo anunciava que os Estados Unidos e a União Soviética iriam lançar os primeiros satélites artificiais. Em 4 de outubro de 1957 foi lançado pela antiga União Soviética (URSS) primeiro satélite artificial da Terra, o Sputnik I. No ano seguinte, em fevereiro de 1958, os Estados Unidos colocaram em órbita da Terra o Explorer I.

O sucesso dos lançamentos dos primeiros satélites em órbitas ampliou a capacidade do homem de enxergar o meio ambiente, motivo pelo qual novas técnicas e ferramentas, que possibilitem seu estudo e mapeamento, são uma necessidade constante. Antes, com o surgimento do avião, a técnica mais significativa neste campo era representada pelas fotografias aéreas. É neste contexto que surgiu o sensoriamento remoto, que numa definição geral é caracterizado como:

A ciência e a arte de obter informações a respeito de um objeto a partir de medidas feitas a distância, sem entrar em contato com o mesmo (SCHOWENGERDT apud CENTENO, 2004).

2.4.1.1 – Processo de Aquisição de Dados

No sensoriamento remoto a informação é por via de regra representada sob forma de imagem, seja esta uma imagem fotográfica, uma imagem de radar ou uma imagem obtida usando “laser”. A imagem é formada a partir da variação da intensidade da radiação eletromagnética proveniente dos diferentes pontos da superfície (CENTENO, 2004).

Ao atingir a superfície, a radiação eletromagnética pode sofrer 3 tipos de interação com os alvos: Reflexão, Absorção e Transmissão (Figura 19).

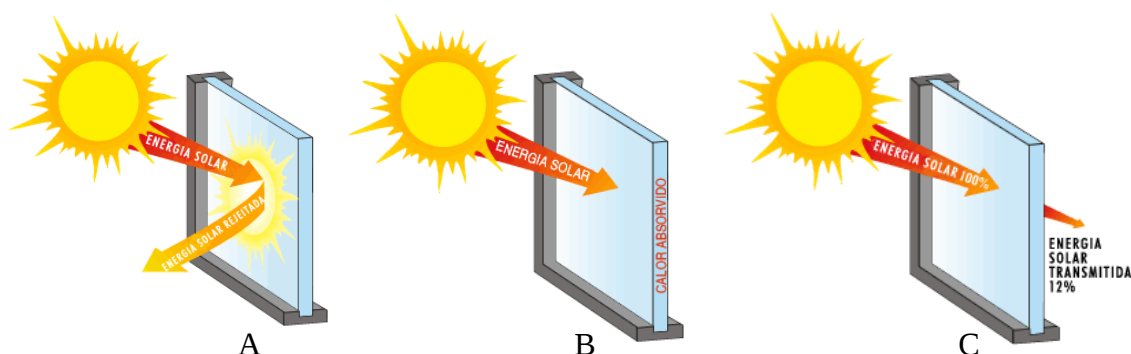


Figura 19: Interação da radiação eletromagnética com alvos na superfície terrestre. A: (Reflexão) A radiação emitida por uma fonte natural (Sol) ou artificial é refletida pela superfície do objeto; B: (Absorção) A radiação emitida pela fonte é absorvida pela superfície do objeto; C: (Transmissão) A radiação incidente atravessa a superfície do objeto. Fonte: <http://www.bekaertfilmsbr.com>

Os sistemas de sensoriamento remoto operam com a energia refletida (ER). Com isso as características de reflectância dos alvos são muito importantes e podem ser quantificadas medindo-se a quantidade de energia que é refletida (fórmula 2.0). Essa medida é função do comprimento de onda e é chamada reflectância espectral.

$$ER = EI - EA - ET \quad (2.0)$$

ER: Energia Refletida; EI: Energia Incidente; EA: Energia Absorvida; ET: Energia Transmitida.

Segundo MOREIRA (2004) existe pelo menos dois processos utilizados para quantificar essa energia: os processos de contato, por exemplo, os termômetros usados para medir a temperatura; e os processos através de sensoriamento remoto, por exemplo, os filmes fotográficos e os sensores CCD, que são utilizados para detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem que, na forma gráfica ou na de tabelas.

2.4.1.2 – Órbita e Faixa de cobertura do Solo

O caminho percorrido por um satélite é chamado de órbita. Satélites são projetados em órbitas específicas para atender às características e objetivo dos sensores transportados (BATISTA, 2004).

Satélites em altitudes muito altas se deslocam com maior velocidade, por exemplo, a uma altitude de 37.000 km o período orbital é igual a 24 horas e está girando com a mesma velocidade angular que a Terra. Portanto ele estará sempre imageando a mesma área do planeta (Figura 20). Esse tipo de satélite denomina-se geoestacionário (INPE, 2008).

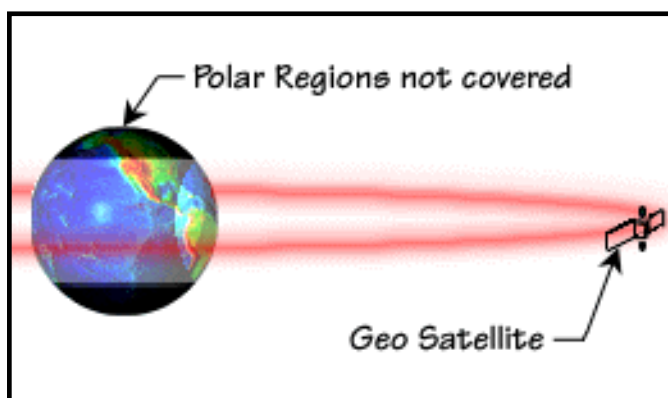


Figura 20: Órbita dos satélites geoestacionários.
Fonte: br.geocities.com

Os satélites geoestacionários têm órbita equatorial, ou seja, eles estão girando em torno da Terra no plano do equador e são muito úteis porque enxergam quase a metade do planeta, sempre da mesma posição, fornecendo imagens em momentos diferentes, permitindo, por exemplo, observar a movimentação de nuvens sobre o planeta. A abertura angular de visada de um sensor é muito pequena, para poder enxergar apenas uma área de alguns quilômetros de extensão. Para enviar informações sobre o planeta, usualmente giram em torno de seu próprio eixo (o que mantém seu equilíbrio) ao mesmo tempo que varrem a superfície da Terra.

Os satélites com baixa altitude e de órbita polar passam pelos pólos ou por perto deles (Figura 21). Os períodos de suas órbitas são de uma a duas horas. Os satélites mais conhecidos no Brasil são o da série NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration*, dos Estados Unidos). Suas informações são captadas desde que aparecem no horizonte até se perderem abaixo dele, durante não mais de meia hora. Enquanto eles avançam, seus instrumentos vão criando uma imagem por “varredura” lateral num plano vertical. Dessa forma, uma estação na superfície é capaz de receber informações de uma grande área, de mais de 2000 por 3000 km de extensão. Uma das diferenças entre os satélites de órbita polar para os demais, é que este viaja na direção Norte-Sul, enquanto que os demais, em geral, percorrem a direção Leste-Oeste (INPE, 2008).

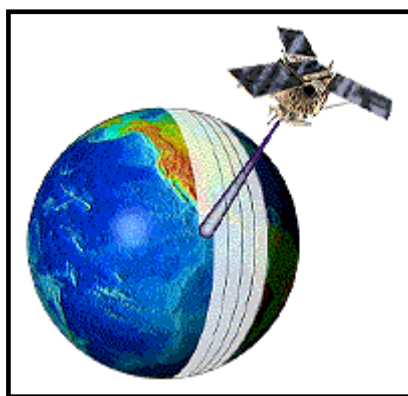


Figura 21: Representação de satélites de órbita polar ou quase polar.
Fonte: br.geocities.com

2.4.2 – O Satélite “QuickBird”

No ano de 2000 a empresa norte-americana *DigitalGlobe*, responsável pelo programa do “QuickBird”, obteve a licença da NOAA para operar um sistema com alta resolução espacial. (PINHEIRO, 2003).

O projeto e construção do satélite foi realizado através da cooperação entre as empresas *DigitalGlobe*, *Ball Aerospace & Technologies Corp.*, *Kodak* e *Fokker Space*. A empresa *Ball Aerospace & Technologies* foi responsável pela construção do telescópio do sensor do satélite, de suas óticas de espelho, bem como pelo veículo transportador. O plano focal, incluindo o CCD linear, instalações de compressão de imagem e eletrônica associada, foram fornecidos pela *Kodak* (PETRIE, 2002).

Em outubro de 2001 o satélite “QuickBird” foi lançado em órbita a partir da base norte-americana *Vandenberg Air Force Base*, localizada na Califórnia, por meio do veículo lançador DELTA II (EURIMAGE, 2008).

2.4.2.1 – Características do Satélite “QuickBird”

A tabela 3 e a figura 22 ilustram, respectivamente, as especificações técnicas e o satélite “QuickBird” em órbita.

Tabela 3: Especificações técnicas do satélite “QuickBird”.
Fonte: Adaptado de DIGITALGLOBE (2006).

Altitude da órbita	450 km
Inclinação da órbita – Linha do Equador	97,2°
Sentido da órbita	Descendente 10:30 a.m
Duração da órbita	93,5 min.
Tipo de órbita	Sol-síncrona.
Tempo de revisita	1 – 3,5 dias dependendo da latitude
Largura nominal da faixa imageada.	16,5 km (<i>nadir</i>) 20,8 km (<i>off-nadir</i>)



Figura 22: Ilustração do satélite "QuickBird" em órbita.
Fonte: DIGITALGLOBE (2006).

O satélite possui sensores do tipo CCD (*Charge Coupled Device*) que realizam varredura eletrônica em fileira linear flexíveis para visadas *off-nadir* até 30°, ao longo do terreno imageado, possibilitando a cobertura mais freqüente do terreno, bem como que sejam adquiridas imagens com estereoscopia (PETRIE, 2002).

Os dados coletados pelo satélite são capturados por duas estações na Terra, *Fairbancks* localizada no Alasca, EUA e em *Tromsø* situada ao norte da Noruega. A partir destas estações, os dados são enviados para o centro de processamento da *Digitalglobe*, com sede em Longmont, no Colorado, EUA (PINHEIRO, 2003).

As imagens disponibilizadas pela *DigitalGlobe* são nas formas PAN (Pancromático), MS (Multiespectral) e uma imagem denominada "*Pan-sharpened*" que possui 0,70 m de resolução, que corresponde a uma composição colorida natural (vermelho, verde e azul) ou infravermelho (vermelho, verde e infravermelho-próximo). A tabela 4 apresenta as características das imagens "QuickBird".

Tabela 4: Especificações das imagens “QuickBird”.
 Fonte: Adaptado de DIGITALGLOBE (2006).

Resolução Espacial	0,61m (<i>nadir</i>) Pancromática 2,44m (<i>nadir</i>) Multiespectral 0,72m (25° <i>off-nadir</i>) Pancromática 2,88m (25° <i>off-nadir</i>) Multiespectral
Resolução Espectral	Pancromático: 0,45 – 0,90 μm
	1 Banda (Azul): 0,45 – 0,52 μm
	2 Banda (Verde): 0,52 – 0,60 μm
	3 Banda (Vermelho): 0,63 – 0,69 μm
	4 Banda (Infravermelho próximo): 0,76 – 0,90 μm
Resolução Radiométrica	11 bits (2048 níveis de cinza)

Por fim, as imagens geradas pelo satélite são comercializadas em três diferentes níveis de correção: Básica (*Basic*), Padrão (*Standard*) e Ortorretificada (*Orthorectified*). As Imagens e produtos do “QuickBird” são fornecidos juntamente com arquivos “metadata” denominados Dados de Suporte à Imagem (*Image Support Data – ISD*), úteis para as correções geométricas das imagens. Segundo a DIGITALGLOBE (2006), o número e o tipo de arquivos disponibilizados varia com o tipo de produto obtido.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Enquadramento Geral

O Cabo de Santo Agostinho é um dos Municípios pertencentes à Região Metropolitana do Recife (RMR), Estado de Pernambuco, localizado na parte oriental do Nordeste brasileiro. Elevado a categoria de cidade, a então Vila do Cabo de Santo Agostinho, passa em 09 de julho de 1877, através da lei provincial nº. 1.269, a ser chamada de Cabo de Santo Agostinho (Prefeitura do Cabo de Santo Agostinho, 2006).

3.2 - Localização e Delimitação da Área de Estudo

No ano 2000, o Município contava com uma área de aproximadamente 446,5 km² e 162.476,00 habitantes (IBGE, 2007). Distando cerca de 33,6 km da cidade do Recife, o Município (Figura 23) limita-se ao Norte com as cidades de Moreno e Jaboatão dos Guararapes, ao Sul com as de Ipojuca e Escada, a Leste com o Oceano Atlântico e a Oeste com a cidade de Vitória de Santo Antão (ASSIS, 1999) .

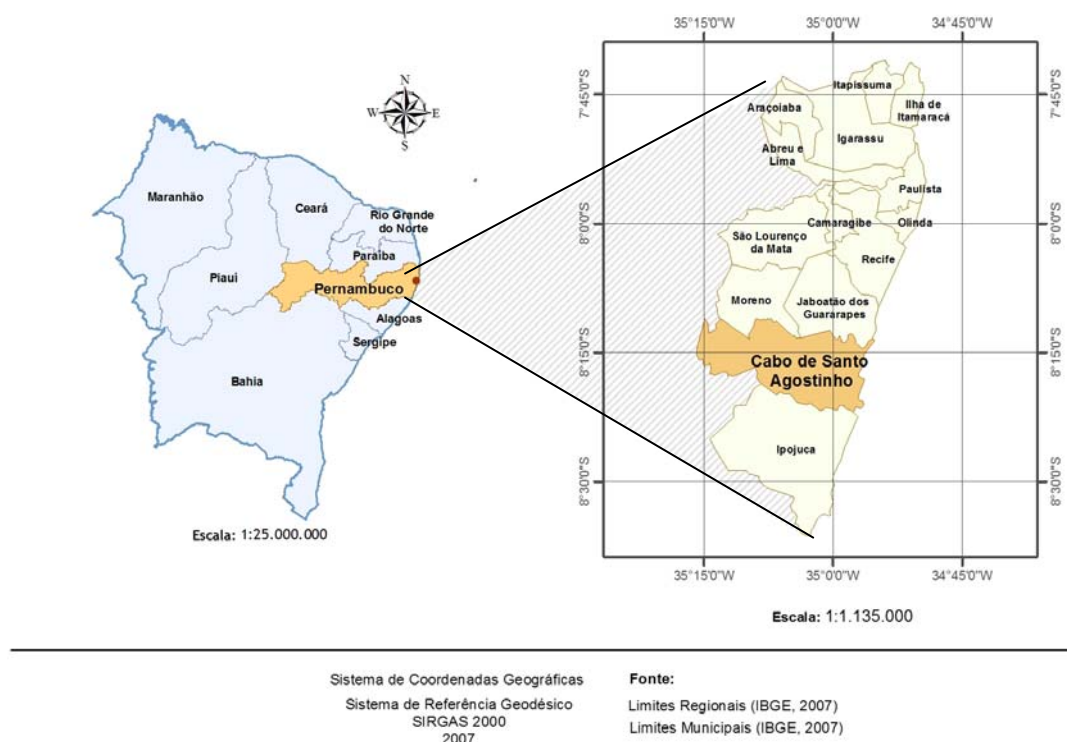


Figura 23 – Mapa de Localização do Município do Cabo de Santo Agostinho.

A divisão territorial do Município está compreendida por quatro distritos: Cabo (sede), Jussaral, Ponte dos Carvalhos e Santo Agostinho. A sede apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 8°17'15" de latitude Sul, 35°02'00" de longitude Oeste de Greenwich; e encontra-se na altitude de 30m.

3.2.1 – O litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho

A área de estudo corresponde a faixa litorânea do Município do Cabo de Santo Agostinho com aproximadamente 14,51 km de extensão entre as coordenadas UTM N = 9089000m, E = 283300m e N = 9077000m, E = 289300m no sistema de referência SAD-69. Apresenta trechos cobertos com uma extensa faixa de coqueirais na praia do Paiva, passando por trechos com densidade de ocupações desordenadas e não dotadas de redes de infra-estrutura urbana nas praias de Itapuama, Enseada dos Corais e Gaibú, até a existência de sítio histórico composto por ruínas de edificações do século XVII no promontório do Cabo de Santo Agostinho (BASTOS *et al.*, 2003).

3.3 – Uso e Ocupação

Segundo BASTOS *et al.* (2003), as características de uso e ocupação no litoral do Município, podem ser apresentadas a partir de uma breve descrição das praias, como itemizadas a seguir:

- Praia do Paiva (Figura 24): Localiza-se numa área de grande sensibilidade ambiental, pois limita-se a Oeste, em sua maior parte, pelo manguezal semi-preservedo do Estuário dos Rios Jaboatão e Pirapama e, em outro trecho, pela Mata de Camaçari. De acordo com os autores, apresenta a menor taxa de ocupação, com apenas 30% dos lotes ocupados por construções que variam de médio a alto padrão sócio-econômico.



Figura 24: Praia do Paiva – PE, 2008.

- Praia de Itapuama (Figura 25): A ocupação na faixa litorânea é de imóveis para veraneio, aproximadamente 50%, com padrão construtivo variando de simples a médio. Verifica-se, também, a existência de assentamentos pobres ao longo da principal via de acesso a esta praia e ocupações desordenadas na faixa de praia, sendo representadas por barracas que abrigam bares e restaurantes em instalações precárias.



Figura 25: Praia de Itapuama – PE, 2008.

- Praia da Pedra do Xaréu (Figura 26): Não existe loteamentos formais e as poucas ocupações ocorrem de forma desordenada, com imóveis de uso misto, servindo de ponto comercial e moradia. Apresenta pequena densidade de ocupação e a tipologia das construções caracterizam-se por um padrão horizontal, variando de construções precárias a padrão médio.



Figura 26: Praia da Pedra do Xaréu – PE, 2008.

- Praia Enseada dos Corais (Figura 27): A ocupação predominante na faixa litorânea é de imóveis para veraneio, sendo aproximadamente 50% ocupado por lotes, aumentando a densidade à medida que se aproximam da praia. A tipologia das construções é caracterizada por um padrão horizontal, variando de simples a alto valor imobiliário.



Figura 27: Praia de Enseada dos Corais – PE, 2008.

- Praia de Gaibú (Figura 28): Caracteriza-se por ser a praia de maior concentração de serviços, comércio e atividades de lazer. É nesta praia que se encontram a maioria dos 7.622 moradores permanentes das praias. A ocupação predominante na faixa de orla é de imóveis para veraneio, apresentando alta densidade de ocupação dos lotes mais próximos à praia. Concentrado em seu litoral, a maior ocupação da faixa de praia é do tipo barracas e quiosques, e 30 imóveis em área de uso público.



Figura 28: Praia de Gaibú – PE, 2008.

- Praia de Calhetas (Figura 29): Encontra-se inserida no Parque Metropolitano Armando Holanda Cavalcanti. No promontório do Cabo de Santo Agostinho, concentram-se aproximadamente, 6 pequenos bares/restaurantes. Essas edificações apresentam-se espaçadas e circundadas por vegetação, mas estão ampliando suas áreas de ocupação sobre as partes do afloramento rochoso existente na faixa de praia.



Figura 29: Praia de Calhetas – PE.

Fonte: http://www.praiacerta.com.br/portal/praias_detalhe.php?praia=165, 2008.

- Praia do Cabo de Santo Agostinho (Figura 30): A morfologia desta praia, corresponde a um costão rochoso e as únicas ocupações existentes são as ruínas de edificações históricas datadas do século XVII, nesta data, usadas para defesa da costa. Apresenta ares de abandono, pois devido ao desmatamento, o solo se encontra em estágio avançado de processo erosivo aluvial e ao precário estado de conservação das ruínas históricas.



Figura 30: Praia do Cabo de Santo Agostinho.

Fonte: http://www.praiacerta.com.br/portal/praias_detalhe.php?praia=205, 2008.

- Praia do Paraíso (Figura 31): Inicialmente ocupada apenas por pescadores, já apresenta ocupação informal, composta por algumas casas de veraneio e vários bares/restaurantes, algumas com construções avançando sobre o afloramento rochoso em direção ao mar.



Figura 31: Praia do Paraíso.

Fonte: www.memorialpernambuco.com.br, 2008.

- Praia de Suape (Figura 32): A maior parte da ocupação do território é decorrente da implantação do antigo *Resort Blue Tree Park* e algumas pequenas pousadas e moradias. A ocupação ocorre com baixa densidade e a tipologia das construções é horizontal. Estas são marcadas por algumas casas de luxo para veraneio, um adensamento de casas com padrão simples, o *resort*, a sede da Colônia de Pescadores e pequenas pousadas.



Figura 32: Praia de Suape.

Fonte: http://olhares.aeiou.pt/praias_de_suape_foto1578962.html, 2008.

Nesta área, dentre as intervenções já citadas, segundo ASSIS (1999), destaca-se como o principal modificador da paisagem litorânea, a construção do Porto de Suape, que por modificar a hidrodinâmica, provocou erosão e induziu retificações, dragagens, “engordamento” de praia e derrocamento de 300 m da linha do beachrock. Desta forma, todo o sistema estuarino associado a praia foi completamente modificado. Um exemplo desta alteração foi o surgimento da Ilha de Cocaia (Figura 33) e aterro e represamento da foz do rio Ipojuca.

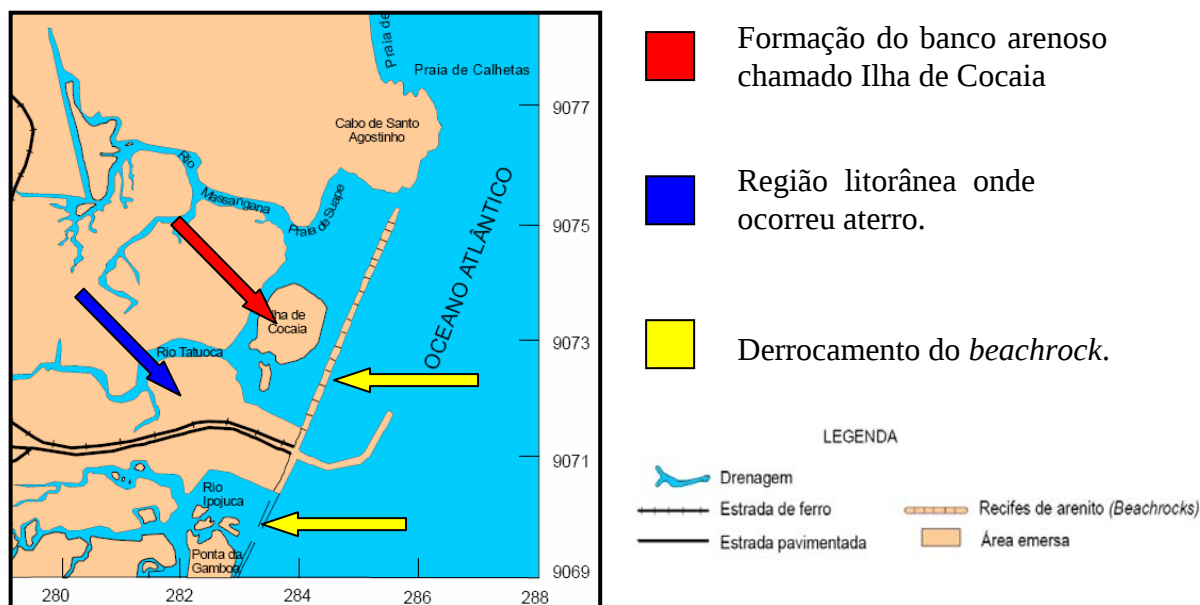


Figura 33: Mapa com o surgimento da ilha Cocaia (Ano de 1996).
Fonte: ASSIS (1999).

3.4 – Aspectos Físicos

3.4.1 – Clima

Segundo a classificação de KÖPPEN (1948) a área de estudo está inserida em uma região de clima do tipo Ams', isto é, tropical úmido, com chuvas de outono/inverno com características bem definidas. As temperaturas médias anuais na RMR, registram uma variação entre 23°C entre os meses de junho a agosto e 30°C entre os meses de outubro a dezembro. A umidade relativa do ar está compreendida entre 72,9% e 90,7%, podendo atingir em Municípios próximos, como Recife, 100%.

Dados climáticos sobre a RMR mostram, a partir de médias históricas, que as variações pluviométricas, para esta região são intensas entre os meses de fevereiro a setembro, sendo o mês de maio o período em que a precipitação alcança seu valor máximo, ou seja, superior a 300 mm (milímetros) (Figura 34) (ALHEIROS, 1998). Um gradativo aumento da precipitação observa-se a partir de fevereiro, com valores variando entre 50 à 100 mm, março e abril com valores de 200 mm, atingindo a precipitação máxima, superior a 300 mm, no mês de maio (MANSO, 2003).

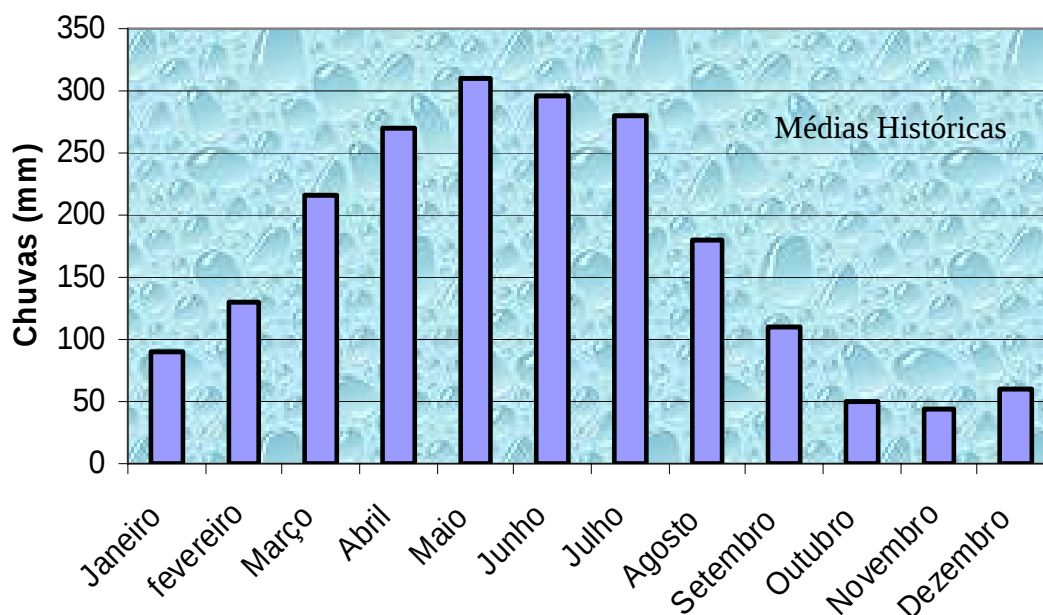


Figura 34: Representação gráfica dos valores pluviométricos das chuvas médias mensais - ano de 1998.
Fonte: Modificado de ALHEIROS (1998).

A partir de dados estatísticos da área do Porto de Suape, a sul de Recife, no período de 1977 a 1983, MUEHE (2006) caracterizou os ventos predominantes, na região, como os de direção SE. Do período de inverno ao de verão, a direção no primeiro momento permanece SE, apresentando na segunda estação, a dominância de ventos alísios, ventos do quadrante E. As velocidades médias variam, no inverno, de 5,0 a 6,1m/s, apresentando nos quadrantes E-SE velocidades em torno de 5,2m/s.

O autor citado determinou ainda que, o regime de ventos, na região litorânea ao sul de Pernambuco, caracteriza-se por ser regular, sazonal, soprando 90% do tempo do setor E-SE, com velocidades médias de 3 à 5 m/s. As brisas marinhas, ventos alísios sudeste, exercem grande influência nas condições climáticas da área, alternando os efeitos térmicos advindos da insolação.

3.4.2 – Vegetação

As formações florestais existentes tanto na área de estudo, como também, em toda costa de Pernambuco são, em maior preponderância, as Florestas Subperenifólia e as Formações Litorâneas. As florestas subperenifólia caracterizam-

se por apresentar árvores com caules retilíneos e espessos, alcançando aproximadamente 30 m de altura (KAZMIERCZAK *et al.*, 1996). As Formações Litorâneas abrangem uma variedade significativa de florestas; dentre outras, pode-se citar: os manguezais, as formações de praia e os campos de várzea.

Os manguezais correspondem a um tipo de vegetação arbóreo-arbustiva, que se desenvolve principalmente nos solos lamosos dos rios tropicais e subtropicais ao longo da zona de influência das marés, tanto para dentro do estuário, onde as variações de marés impulsionam as águas salgadas do mar para dentro do continente através do canal fluvial, como para as laterais dos rios em zonas sujeitas a inundações ao longo dos estuários (MADRUGA FILHO, 2004).

Nas formações de praia a vegetação caracteriza-se por ser pouco densa e herbácea. Sua ocorrência tem início geralmente depois das cristas de berma, mais precisamente na pós-praia e são representados por gramíneas, salsas de praia, capim da areia e psamófica herbácea alastrante (MAIA *et al.*, 2005).

Os campos de várzeas úmidas e alagadas, ocorrem ao longo dos cursos d'água, brejos e áreas de acumulação de água doce. Na área em estudo, estas formações são densas e predominam espécies de *Gramineae* e *Cyperaceae* (MANSO, 2003).

3.4.3 – Hidrografia

A bacia hidrográfica que drena a área de estudo é composta pelo Rio Pirapama, caracterizado por pertencer a categoria de rios translitorâneos, ou seja, nasce no Agreste pernambucano onde apresenta regime temporário, tornando-se perene ao penetrar na Zona da Mata.

Com cerca de 80 km de extensão, o Rio Pirapama nasce no Município pernambucano de Pombos e apresenta cerca de 77% de sua bacia no Município do Cabo de Santo Agostinho. Devido a condicionantes estruturais (adaptação a linhas de falhas geológicas), sua trajetória varia de direção ao longo do percurso, desde a nascente até o início da planície costeira, percorrendo no sentido geral, Oeste-Leste,

até a altura da Praia do Paiva. Neste ponto, desloca-se para Norte, encontrando, mais adiante, o Rio Jaboatão, percorrendo juntos aproximadamente 2,5 km, até a desembocadura em Barra de Jangada (CPRH, 2001).

Os maiores tributários do Rio Pirapama são em ordem decrescente de extensão, os Rios Gurjaú, Cajabuçu e Arariba, todos com nascentes no Município de Moreno, sendo no primeiro, localizada as barragens de Gurjaú e Sucupema, integrantes do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife.

O sistema de monitoramento hidrológico da bacia do Rio Pirapama é desenvolvido, em parceria, desde de 1998, pela Agência Estadual do Meio Ambiente (CPRH), Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), Secretaria de Estudos Científicos e Tecnológicos do Meio Ambiente (SECTMA) e Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco (ITEP), que demonstra, por sua vez, a preocupação que os órgãos ligados a questão ambiental têm com esta, pois a utilização dos recursos hídricos da bacia hidrográfica é fundamental para o Município do Recife e sua vizinhança, demandando hoje, uma vazão permanente de $1,0\text{m}^3/\text{s}$ das águas deste rio (MADRUGA FILHO, 2004).

3.4.4 – Oceanografia

3.4.4.1 – Regime de Marés

A maior parte do litoral brasileiro, do Estado de Alagoas ao do Rio Grande do Sul, apresenta amplitudes de marés inferiores a 2 m (micromarés). Amplitudes superiores a 4 m (macromarés) ocorrem apenas no Estado do Maranhão, em parte do Pará (Salinópolis) e no litoral do Cabo Norte (Amapá). Nestes últimos locais as correntes de marés possuem capacidade para modificar a morfologia da linha de costa e da plataforma continental interna. O restante do litoral e alguns trechos do litoral da Bahia e Sergipe, apresentam mesomarés com amplitudes de 2 a 4 m (TESSLER e GOYA, 2005).

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), órgão vinculado à Marinha do Brasil, realiza o monitoramento das marés para o litoral sul de Pernambuco a partir de duas estações maregráficas: uma localizada no Porto do Recife e outra no de Suape. Em ambas as estações, as marés apresentam amplitude e período que as classificam como mesomarés semidiurnas (MANSO, 2003). Este tipo de maré caracteriza-se por apresentar duas preamares e duas baixa-mares no período de um dia lunar (24 horas e 50 minutos), e são observadas desde Vitória-ES até o Norte do Brasil.

3.4.4.2 – Ventos

A circulação atmosférica é um aspecto importante para a compreensão da circulação das águas costeiras e dispersão de sedimentos, tendo em vista serem os ventos, o principal elemento gerador de correntes e ondas nesta região.

De acordo com a CEPEMAR (2004) a costa Leste-Nordeste do Brasil, onde está inserida a área de estudo, está quase que inteiramente contida no cinturão de ventos alísios. Os que alcançam a costa Leste e Nordeste do Brasil mostram duas direções principais: E-SE e NE. A região onde se manifesta a mudança de direção dos ventos alísios é conhecida sob o nome de Zona de Divergência (ZD), de tal modo que a Norte da ZD os ventos sopram SE e a Sul sopram de NE (Figura 35). Esta zona está localizada em média em torno de 15° S, entretanto sua posição varia durante todo o ano. Entre abril e agosto a ZD está localizada ao Sul de 15° S, alcançando até 20° S em julho. Em setembro a ZD desloca-se para o Norte. Em outubro e março a ZD está localizada a Norte de 15° S, deslocando-se para 13° S em janeiro.

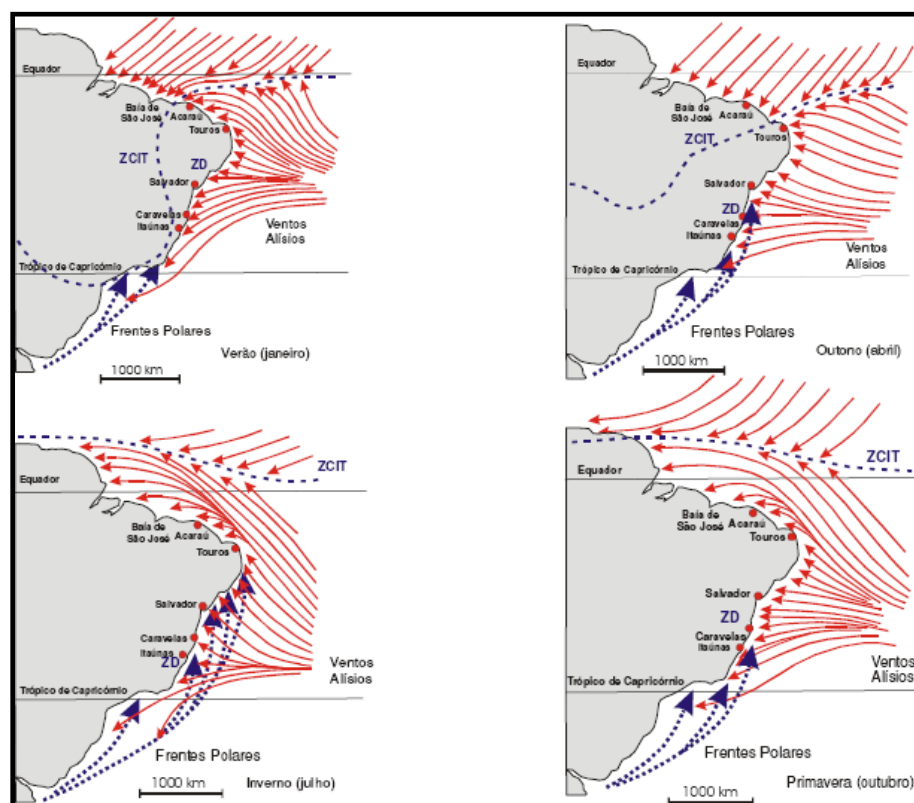


Figura 35: Caracterização da circulação atmosférica na costa Leste-Nordeste do Brasil (modificado de DOMINGUEZ, 1999 apud CEPEMAR, 2004).

3.4.4.3 – Sistema de Correntes

Segundo MADRUGA FILHO (2004), provavelmente, os sistemas de correntes que afetam a sedimentação e conseqüentemente a morfologia da zona costeira da área de estudo são: correntes de marés, correntes de circulação oceânica e correntes litorâneas.

Estando a área estudada submetida a um sistema de mesomarés, é natural que as correntes de marés exerçam uma substancial influência na modelagem costeira da região, sobretudo quando associadas a períodos de ventos mais intensos e marés de sizígia, sendo, esta última, caracterizada por apresentar as maiores preamares (PM) e menores baixas-mares (BM), resultantes das forças de atração da Lua e do Sol (MIGUENS, 2000), porque podem propiciar a geração de ondas com alturas maiores que as convencionais.

Atualmente existem poucos dados por longo período de observação, sobre a velocidade das correntes junto à costa de Pernambuco. MANSO (2003) cita um dos poucos levantamentos existentes sobre o assunto, realizado na região do Porto de Suape, em agosto de 1992, onde foi observado que na área estudada, os padrões de velocidade de corrente tanto na zona externa dos beachrocks, como nas áreas entre os beachrocks e a praia, a velocidade seja na ordem de 0,4 à 0,6 m/s e 0,1 à 0,2 m/s, respectivamente.

3.4.4.4 – Clima de Ondas

As ondas oceânicas são geradas pelos ventos que vão de uma maneira geral apresentar as mesmas direções de propagação apresentadas pelos ventos dominantes. No Brasil, de certa forma, a zona litorânea, pode ser considerada como uma “área calma”, por não ser afetada por nenhuma sistema capaz de gerar tormentas de grandes magnitudes (CUNHA, 2004).

Segundo a CEPEMAR (2004), as estatísticas de ondas disponíveis em estudos de HOGGEN & LUMB (1967) para a costa leste do Brasil, mostram que ao longo de todo o ano predominam ondas de N-NE. Entretanto começando em abril, e se estendendo até agosto, formam-se ondas de E-SE que representam uma percentagem significativa das ondas que alcançam a costa Leste do país. Estas ondas estão associadas com os ventos alísios que sopram na região, reforçadas no outono e inverno pelos ventos de SW-S-SE, que por sua vez estão associados ao avanço das frentes frias. Desta forma, durante o outono (Abril-Maio) e inverno (Junho-Agosto) ondas de E-SE com alturas em torno de 1,5 m e períodos de 6-7 s, são muito freqüentes, enquanto que durante a primavera (Setembro-Novembro) e verão (Dezembro-Fevereiro) ondas de N-NE com altura de 1,0 m e períodos de 5 s ou menos são dominantes.

Na costa litorânea do Estado de Pernambuco, o sistema de ondas oceânicas que aportam nesta região, em função da significativa velocidade e direção dos ventos, desempenha grande influência no transporte de sedimentos à praia (MADRUGA FILHO, 2004). Medidas realizadas pela PORTOBRÁS, no Porto de Suape, entre os anos de 1977 a 1984, usando ondógrafos instalados a

aproximadamente 17 m de profundidade, constatou que as direções das ondas na primavera (Setembro-Novembro) e no outono (Março-Maio) ocorrem, numa leve tendência, no sentido S-N, no verão (Dezembro-Fevereiro) assumem a direção N-S, e no inverno (Junho-Agosto) predomina a direção S-N. No geral, as ondas e ventos, nestas estações, apresentam direção E-SE, alturas aproximadas de 1 a 1,5 m e períodos de 5 a 7 s, dominantes durante o ano (MANSO, 2003).

A dispersão de sedimentos arenosos ao longo da linha de costa está, portanto, controlada pela atuação destes sistemas, que ao atingirem a costa, são submetidos a transformações em águas rasas, tais como ao processo de refração, difração e empinamento, gerando padrões locais de circulação hidrodinâmica, com a formação de correntes de retorno e de deriva litorânea, fundamentais na definição morfodinâmica das praias e na deposição ou retirada dos sedimentos em suspensão.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas executadas no presente trabalho para avaliação da morfodinâmica praial, através de séries históricas de imagens sub-orbitais e orbitais, podem ser observadas no fluxograma (Figura 36):

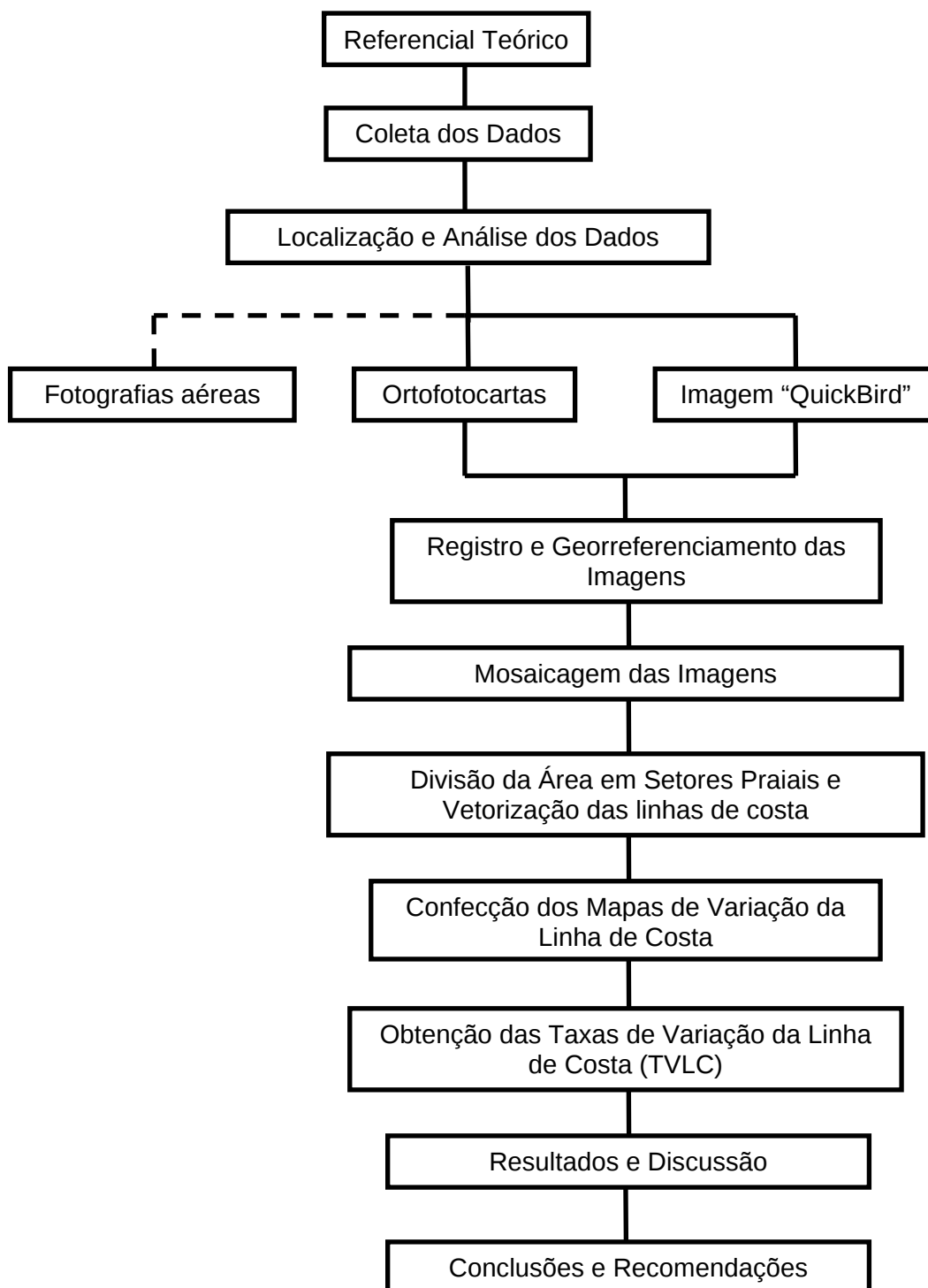


Figura 36: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

4.1 – Referencial Teórico

Com o objetivo de embasar cientificamente a presente dissertação, foram coletadas informações anteriores, em teses, dissertações, artigos, revistas e relatórios que fornecessem dados e resultados sobre o tema abordado, enriquecendo a pesquisa e dando uma maior segurança das informações expostas. Estas estão citadas nos capítulos anteriores subsidiando todo o processo estabelecido e adotado neste estudo.

4.2 – Coleta de dados

O início da coleta de dados para o trabalho baseou-se na metodologia de investigação de inventários de ciclos erosivos, que segundo MORAIS apud DUARTE (2002) consiste na coleta histórica de materiais cartográficos temporais disponíveis que contemplem a área de estudo. A tabela 5 apresenta os dados levantados.

Tabela 5: Dados coletados para execução do trabalho.

Materiais Coletados	Ano	Escala	Quantidade	Fonte
Ortofotocartas	1975	1:10000	1	CONDEPE/FIDEM
	1989	1:10000	1	
	2006	1:5000	1	COPERGAS
Imagens do Satélite "QuickBird"	2005	1:5000	1	GEOSERE/UFRPE
Fotografias aéreas	1974	1:6000	34	CONDEPE/FIDEM
	1986	1:6000	26	
	1997	1:6000	32	
Carta de Nucleação	2003	1:20000	1	
Base Cartográfica	2002	1:2000	1	SPU

4.3 – Localização e análise dos dados

(a) Fotografias aéreas

As fotografias aéreas da área de estudo foram levantadas junto a Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM, de forma seqüencial, ou seja, com sobreposição para cada série temporal e com a maior escala disponível. As fotografias aéreas dos anos de 1974, 1986 e 1997 disponíveis no acervo da instituição e disponibilizadas para o trabalho, encontram-se na escala de 1:6000, modo pancromático P&B, em meio digital, formato .tiff e scannerizadas à 300 dpi (*dots per inch*).

As fotografias aéreas constituíram, em conjunto com as ortofotocartas e as imagens do satélite “QuickBird”, as fontes de informação para o presente trabalho. Vislumbrou-se, porém, a necessidade de se analisar algumas condicionantes para utilização das mesmas.

As fotografias aéreas disponíveis registravam o desenvolvimento da região litorânea do Município do Cabo de Santo Agostinho entre os anos de 1974, 1986 e 1997, onde a cobertura vegetal predominava em grande parte da área, e as construções existentes na época não apresentavam os mesmos padrões construtivos atuais. Verificou-se então, um entrave na utilização das mesmas, pois o processo de georreferenciamento exige que sejam obtidas coordenadas geodésicas de pontos homólogos entre as fotografias aéreas e o solo. Assim, passaram a constituir material auxiliar de apoio no esclarecimento de dúvidas quando da utilização dos outros produtos cartográficos, pelo limitante ora apresentado.

Constatado a impossibilidade da utilização das fotografias aéreas para vetorização dos aspectos de interesse, a escolha de uma nova base de informação fotogramétrica para a presente pesquisa recaiu sobre as ortofotocartas dos anos de 1975 e 1989 que, em conjunto, com as imagens do satélite “QuickBird” do ano 2005 foram utilizadas para obter a taxa de variação da linha de costa entre os anos de 1975 e 2005.

(b) Ortofotocartas

Estas foram obtidas junto a Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) e Companhia Pernambucana de Gás (COPERGAS). As ortofotocartas executadas a partir das fotografias aéreas tomadas nos anos 1975, 1988 e 2006, disponibilizadas para os anos de 1975, 1989 e 2006, nas escalas de 1:10000, 1:10000 e 1:5000 respectivamente, sendo as duas primeiras em modo pancromático P&B, subdivididas em 8 imagens, em meio digital no formato .tiff e não georreferenciadas a um DATUM; a terceira encontra-se em modo pancromático colorido, subdividida em 9 imagens em meio digital, nos formatos .geotiff e .DWG e georreferenciada ao DATUM Sul-americano SAD-69.

A escolha destas como nova base de informação fotogramétrica deve-se ao fato de que as informações contidas, ao contrário das fotografias aéreas, são apresentadas em suas verdadeiras posições, sendo desta forma, geometricamente equivalente a um mapa, mas com uma maior riqueza e detalhamento das informações.

As ortofotocartas dos anos de 1975, 1989 e 2005 por apresentarem em sua estrutura o grid UTM, ou seja, um conjunto de paralelos e meridianos espaçados em 1000 m, 1000 m e 500 m respectivamente, mostram pontos nestes grids referidos ao sistema de referência SAD-69, MC 33°W e Fuso 25, e representados através das coordenadas Norte e Este, tornando possível o processo de georreferenciamento das mesmas, obtendo-se as coordenadas dos pontos de maneira prática e direta, sem a necessidade do deslocamento de equipes in-loco para coleta de pontos através do sistema GPS.

Segundo DUARTE (2002) o uso de ortofotocartas mostra uma vantagem adicional em relação as fotografias aéreas, pois possibilita a determinação não só dos valores dos deslocamentos da linha de costa, mas também das cotas sobre a superfície do terreno, uma vez que é corriqueira a presença de curvas de níveis sobre a mesma.

(c) Imagens “QuickBird”

Disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (GEOSERE) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) em forma de mosaico, modo multiespectral, formato .geotiff e georreferenciada ao Datum Sul-americano SAD-69. Estas imagens do ponto de vista qualitativo e quantitativo, ao contrário das ortofotocartas P&B, recobrem uma faixa maior do espectro, representando a linha de vegetação com maior riqueza de informações, porém com menor precisão posicional quando comparada as já citadas ortofotocartas.

4.4 – Registro e Georreferenciamento das imagens

Uma vez selecionadas as ortofotocartas e as imagens de satélite, tornou-se necessário, então, realizar o registro e o georreferenciamento das ortofotocartas dos anos de 1975 e 1989, pois imagens produzidas por sensores remotos ou scannerizadas sem o necessário rigor geométrico para trabalhos fotogramétricos, sejam elas ortofotocartas, imagens de satélite e/ou fotografias aéreas, apresentam uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados.

O processo de registro consiste no ajuste de uma imagem através de uma transformação espacial que relaciona coordenadas da imagem (linha e coluna) com coordenadas geodésicas (planas ou geográficas) de uma imagem de referência (Figura 37), fornecendo, então, a imagem corrigida geometricamente, ou seja, georreferenciada.

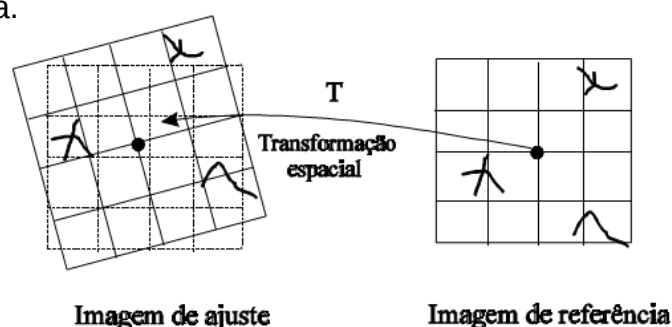


Figura 37: Transformação espacial entre imagens de referência e de ajuste.

Fonte: www.dpi.inpe.br/spring.

Para registrar as imagens empregou-se o *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas). Sua escolha deve-se ao fato de ser um *software* de livre acesso, disponibilizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), como também por prover um ambiente de trabalho amigável, através da combinação de menus e janelas com linguagem espacial facilmente programável pelo usuário, fornecendo um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos quando comparado com outros *softwares* da mesma categoria.

4.4.1 – Registro das Ortofotocartas

Os procedimentos executados para o registro das 8 imagens das ortofotocartas dos anos de 1975 e 1989 no *software* SPRING foram:

(a) Recorte, Resolução Espacial e Conversão das imagens:

No *software* Photoshop recortou-se a área de interesse, em seguida em *bar of tools* através da função *image e size of the image*, foram obtidos os valores das dimensões da imagem em *pixel* e em centímetros (Figura 38), necessários para o cálculo da resolução espacial.

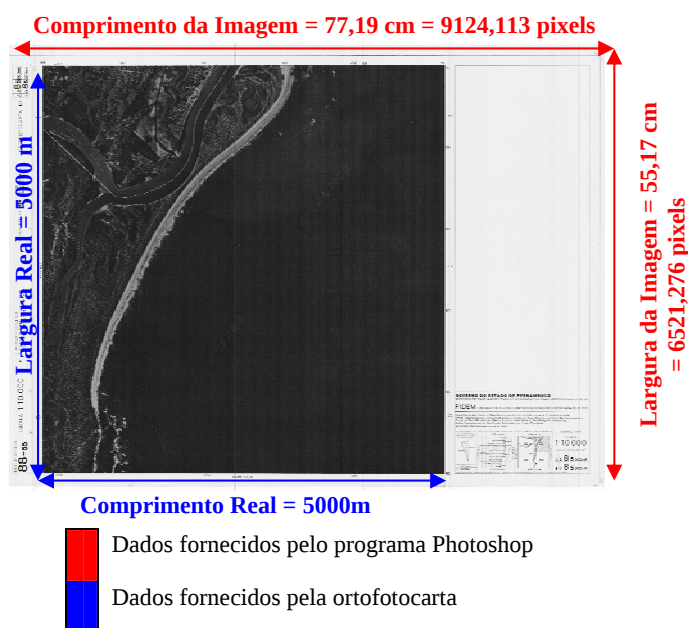


Figura 38: Ortofotocarta N° 8879 de 1975, com representação dos dados para o cálculo da resolução espacial da mesma

A resolução espacial da figura 25, em metros, por exemplo, foi obtida através dos dados fornecidos pelo *software* e dos inclusos na figura citada, ou seja, em um comprimento de 77,19 cm existem 9124,113 *pixels* e para uma largura de 55,17 cm existem 6521,276 *pixels*.

Sabendo que as dimensões da imagem equivalem a 5000 m em comprimento e largura, torna-se necessário saber o quanto essa medida equivalerá quando representada na escala de 1/10000. Para tanto se empregou a formula 3 para obter tal medida.

$$E = \frac{d}{D} \quad (3.0)$$

$$d = 5000 \times \frac{1}{10000} \quad d = 50 \text{ cm}$$

Para calcular quantos *pixels* existem em um comprimento e largura de 50 cm, monta-se uma simples regra de três:

Resolução Espacial para o comprimento da imagem (RE_L):

77,19cm-----9124,113 <i>pixels</i>	5000 m ----- 5910,165 <i>pixels</i>
50,00 cm -----X	RE_L -----1 <i>pixel</i>
$X = 5910,165 \text{ pixels}$	$RE_L = 0,846 \text{ m}$

Resolução Espacial para largura da imagem (RE_A):

55,17 cm ----- 6521,276 <i>pixels</i>	5000m-----5910,165 <i>pixels</i>
50 cm -----Y	RE_A -----1 <i>pixel</i>
$Y = 5910,165 \text{ pixels}$	$RE_A = 0,846 \text{ m}$

Portando, a resolução espacial (RE_L e RE_A) de 1 *pixel*, em metros, sabendo que em 5000 m de comprimento e largura existem 5910,165485 *pixels*, será de 0,846 m por 0,846 m. Portanto, a resolução espacial da imagem será 0,846 m.

No módulo IMPIMA do *software* SPRING, que permite a leitura de imagens digitais foram inseridas as resoluções espaciais em conjunto com as ortofotocartas recortadas em meio digital, em formato .tiff e em seguida convertidas para .GRIB que é o formato lido pelo SPRING.

(b) Escolha dos pontos de controle e Análise dos erros RMS e Gráficos

No *software* SPRING abre-se a imagem convertida para o formato .GRIB, logo após, em *bar of tools*, através da função *register*, são definidos os pontos de controle para o registro. Os pontos e as respectivas coordenadas UTM foram obtidos anteriormente através das ortofotocartas em meio digital e da base cartográfica da SPU (Secretaria do Patrimônio da União). Estes pontos representam feições possíveis de serem identificadas nas imagens de modo preciso e são representados através de suas respectivas coordenadas planas Norte e Este, estabelecendo uma relação entre as imagens de referência e a de ajuste.

O número de pontos de controle coletados em cada imagem depende do tamanho desta, do número de quadrículas UTM e das feições possíveis de identificação. Em média foram definidos 13 pontos em cada uma das 8 imagens durante a operação de registro. O número de pontos de controle influencia diretamente na qualidade do registro, desde que bem distribuídos e precisos.

Inseridos os pontos de controle, verifica-se então o erro RMS (*Root Mean Square Error*) e o erro de gráfico.

Durante o processo de registro, o *software* SPRING fornece automaticamente em sua tela o valor do erro RMS em *pixels*. É diretamente comparável ao conceito de desvio padrão, ou seja, serve para dimensionar a dispersão das medidas em relação aos valores originais. Assim o erro é estimado a partir da equação (4.0), ou seja, tomando-se uma amostra dos valores calculados e comparando-a com seus valores reais, estabelece-se, então, o erro em *pixels*.

$$RMS = \sqrt{\left[\frac{(X_1 - X_{org})^2 + (Y_1 - Y_{org})^2}{n} \right]} \quad (4.0)$$

onde: X_1 = Coordenada de linha calculada na imagem não-registrada;
 Y_1 = Coordenada de coluna calculada na imagem não-registrada;
 X_{org} = Coordenada original da linha (ponto de controle) na imagem;
 Y_{org} = Coordenada original da coluna (ponto de controle) na imagem.
 n = número de medidas.

Segundo JÚNIOR *et al.* (2006), o erro de graficismo está relacionado com a exatidão planimétrica do produto cartográfico, sendo intimamente relacionado com a sua escala. Corresponde ao menor comprimento gráfico que se pode obter em uma representação cartográfica, ou seja, cerca de 0,2 milímetros (mm), logo também é o erro máximo admissível que se pode cometer ao efetuar uma medição sob uma representação gráfica.

Como a escala é uma relação de proporção entre uma representação gráfica e a superfície terrestre representada, logo a exatidão desta imagem, definida pela equação (5.0) é função da relação entre o erro de graficismo e a escala do documento cartográfico.

$$E_{graf} = 0,0002 \times N \quad (5.0)$$

onde: E_{graf} = Erro de graficismo;
0,0002 = Erro máximo admissível em metros;
 N = Escala da imagem.

A análise dos erros RMS e de graficismo, obtidos para os dados históricos de 1975 a 1989 (tabela 6) permite avaliar a qualidade dos pontos durante o processo de registro da imagem, evitando a utilização de imagens georreferenciadas com erros acima do permitido. Caso os erros estejam dentro dos limites toleráveis, salva-se a imagem georreferenciada no SPRING através da função exportar e salvar.

Por exemplo, para trabalhos realizados na ortofotocarta de 1975, na escala de 1:10000, o erro de graficismo é de 2,0 m. Assim, um erro RMS de 1,182 *pixels* para resolução espacial de 0,846 m, isto é, um erro linear de 1,0 m, no processo de registro é satisfatório.

Tabela 6: Margem de erros de cada ortofotocarta para o ano analisado.

Dados	Anos	Escala	Resolução Espacial (m)	RMS (em pixels)	Erro Linear (m)	Erro de Gráficos (m)
Ortofotocarta	1975	1:10000	0,846	1,182	1,0	2,0
Ortofotocarta	1989	1:10000	0,846	1,193	1,0	2,0

4.4.2 – Registro das Imagens do Satélite “QuickBird”

Por se tratar de uma imagem orbital já georreferenciada ao sistema de referência SAD-69, MC 33°W e Fuso 25, não há, portanto a necessidade de executar, para a mesma, os procedimentos de registro realizados anteriormente para as ortofotocartas. Naturalmente, considera-se que a imagem está corrigida geometricamente e pronta para ser utilizada na presente pesquisa.

4.5 – Mosaicagem das Imagens

Após o georreferenciamento das 8 imagens (ortofotocartas), montou-se os mosaicos destas utilizando o *software* Auto Cad Map, a fim de obter uma única imagem da área de estudo. Na barra de ferramentas, através da função *map*, *tools* e *rubber sheet* foram definidos 4 pontos de referência nos vértices de cada imagem, transportando a mesma do sistema de coordenadas local do *software* (X, Y) para o sistema de coordenadas geodésicas (N,E), localizadas no fuso 25, DATUM SAD-69 no qual as imagens foram georreferenciadas, obtendo desta forma os mosaicos para cada uma das séries históricas de 1975 e 1989 (Figuras 39-A e 39-B).

Ao tratar da imagem do satélite “QuickBird”, não houve a necessidade de mosaicar a mesma, pois esta foi disponibilizada pela GEOSERE/UFRPE em uma única imagem (mosaico) georreferenciada que recobre toda área de estudo (Figura 39-C).

MOSAICOS DO LITORAL DO MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE.

Autor: Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida
Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

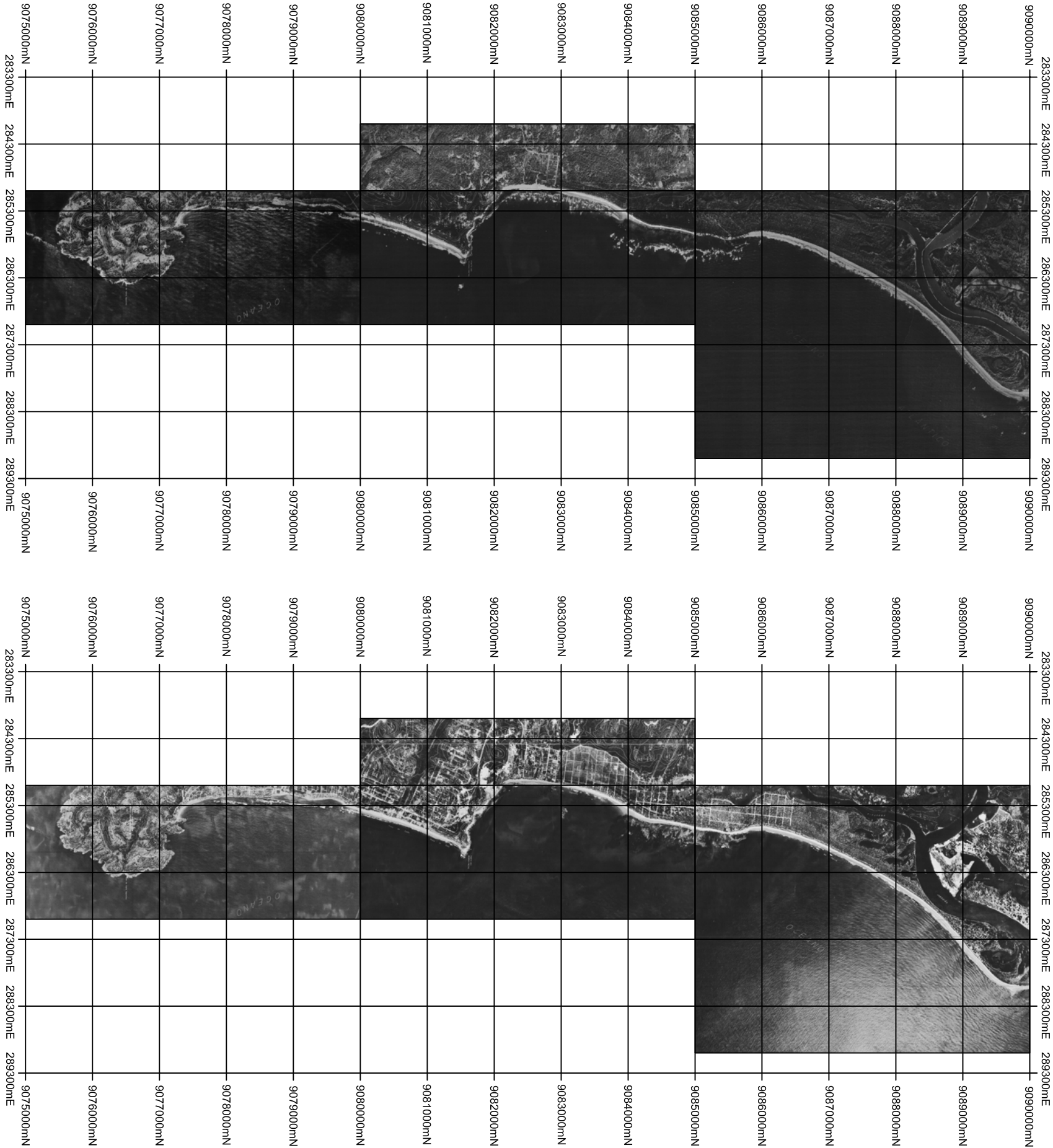


Figura 39-A: Mosaico da ortofotocata de 1975.

Figura 39-B: Mosaico da ortofotocata de 1988.

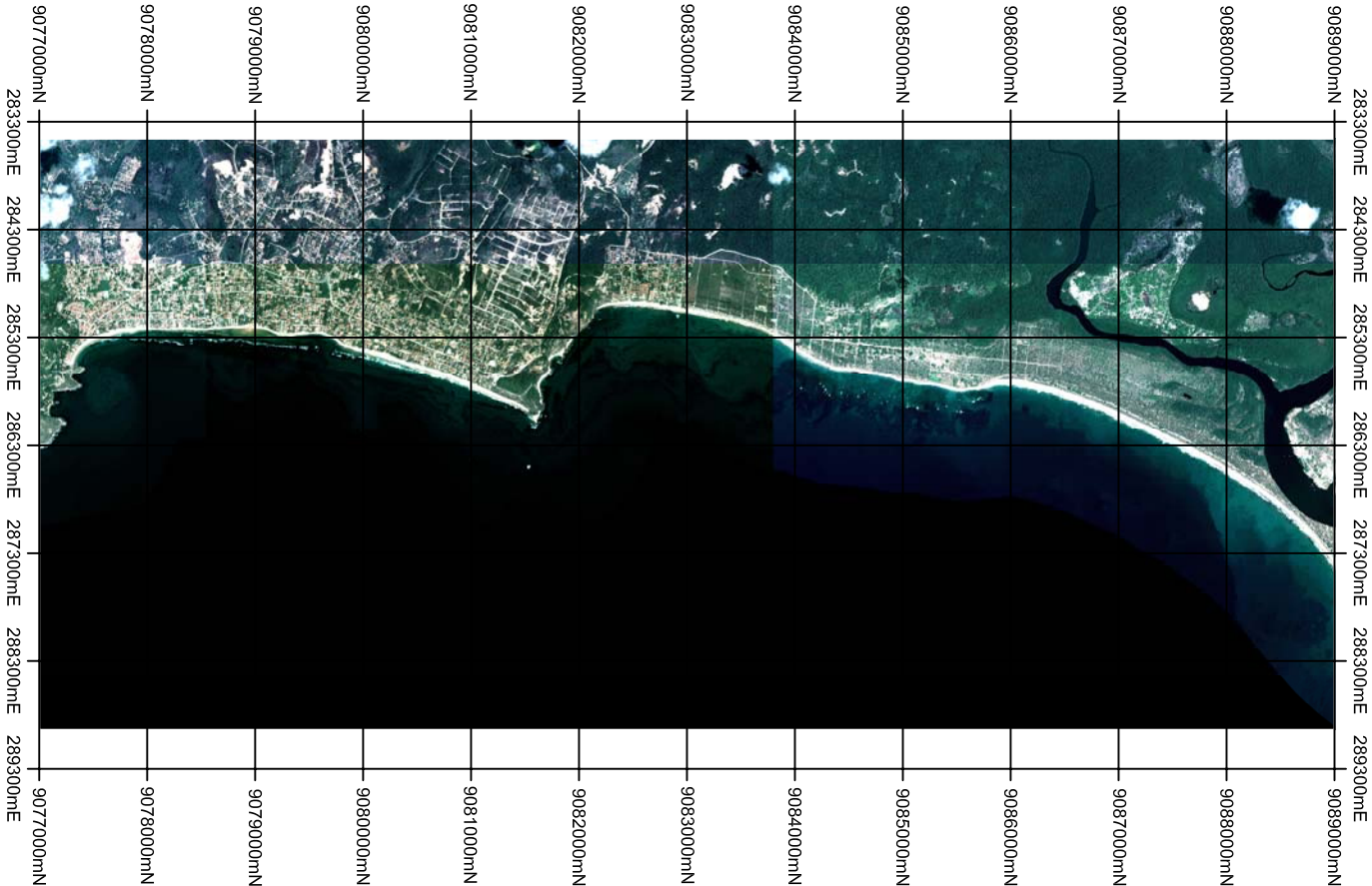
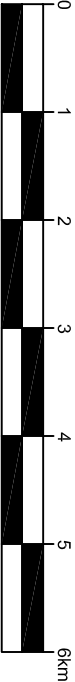


Figura 39-C: Mosaico da ortofotocata de 2005.



ESCALA GRÁFICA

4.6 – Divisão da Área em Setores Praiais e Vetorização das Linhas de Costa

Obtidos os mosaicos das ortofotocartas e da imagem do satélite “QuickBird” da área de estudo para os anos de 1975, 1989 e 2005, dividiu-se então a faixa litorânea do Município do Cabo de Santo Agostinho em seis sub-áreas (setores), delimitadas através de retângulos equivalentes e representados por suas respectivas coordenadas geodésicas (Figuras 40-A, 40-B e 40-C) referenciadas ao DATUM SAD-69, fuso 25. Esta divisão em setores baseou-se no trabalho de MADRUGA FILHO (2004), que entre outros fatores, levou em consideração a presença ou não de recifes, erosão e ocupação da linha de costa. A tabela 7 apresenta os setores, suas coordenadas UTM e geográficas, localizadas no fuso 25, meridiano central 33°W no Datum sul-americano SAD-69.

Tabela 7: Divisão do litoral do Cabo de Santo Agostinho em setores.

Setor	Área equivalente	Coordenadas UTM	Coordenadas Geográficas
1	Praia de Barra de Jangada e do Paiva	9089000 mN, 285500 mE	ϕ : -08° 14' 12,88411" e λ : -34° 55' 12,08249"
		a 9087000 mN, 285500 mE	a ϕ : -08° 15' 17,50099" e λ : -34° 56' 50,40633"
2	Praia do Paiva	9087000 mN, 286900 mE	ϕ : -08° 15' 17,72269" e λ : -34° 56' 04,66868"
		a 9085000 mN, 285500 mE	a ϕ : -08° 16' 22,59006" e λ : -34° 56' 50,72566"
3	Praia do Paiva	9085000 mN, 286000 mE	ϕ : -08° 16' 22,66958" e λ : -34° 56' 34,39008"
		a 9083000 mN, 284800 mE	a ϕ : -08° 17' 27,56717" e λ : -34° 57' 13,91648"
4	Praia de Itapuama	9083000 mN, 285400 mE	ϕ : -08° 17' 27,66310" e λ : -34° 56' 54,31297"
		a 9082000 mN, 284800 mE	a ϕ : -08° 18' 00,11153" e λ : -34° 57' 14,07730"
5	Praia de Itapuama e Enseada dos Corais	9082000 mN, 286000 mE	ϕ : -08° 18' 00,30332" e λ : -34° 56' 34,86931"
		a 9079500 mN, 285000 mE	a ϕ : -08° 19' 21,50447" e λ : -34° 57' 07,94512"
6	Praia de Gaibú	9079500 mN, 286000 mE	ϕ : -08° 19' 21,66467" e λ : -34° 56' 35,26991"
		a 9077212 mN, 285001 mE	a ϕ : -08° 20' 35,96605" e λ : -34° 57' 08,28178"

Para a análise evolutiva das linhas de costa de cada série temporal em formato vetorial, escolheu-se o *software* AutoCad Map, devido aos seus recursos existentes para vetorização e facilidades em trabalhar com imagens georeferenciadas. Após análise das imagens, em função da qualidade destas e da morfologia da área, determinou-se a linha de vegetação (Figura 41) como referencial para a vetorização da posição temporal da linha de costa.

SETORIZAÇÃO DOS MOSAICOS DO LITORAL DO MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE.

Autor: Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida
Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

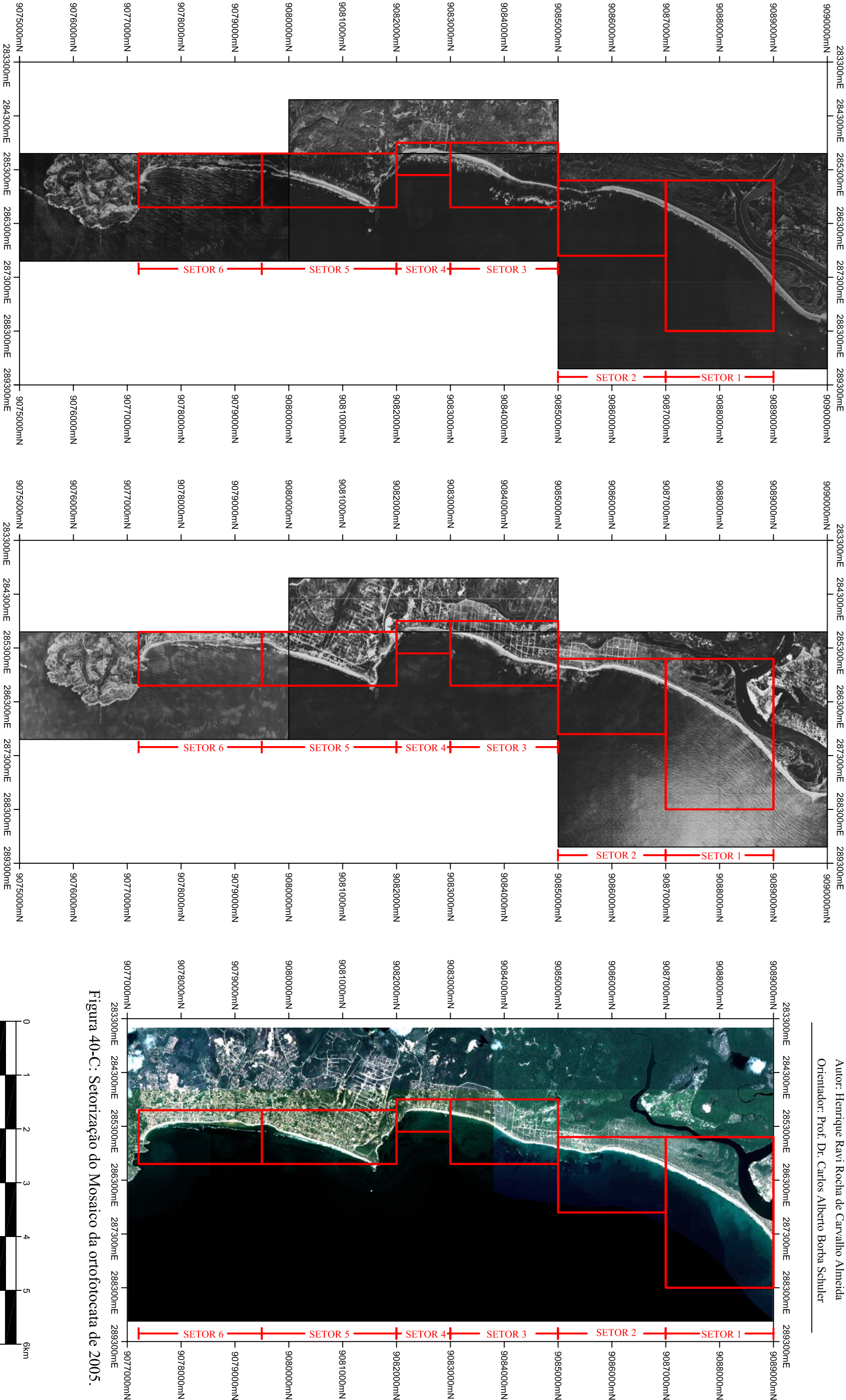


Figura 40-A: Setorização do Mosaico da ortofotocata de 1975.

Figura 40-B: Setorização do Mosaico da ortofotocata de 1988.

Figura 40-C: Setorização do Mosaico da ortofotocata de 2005.

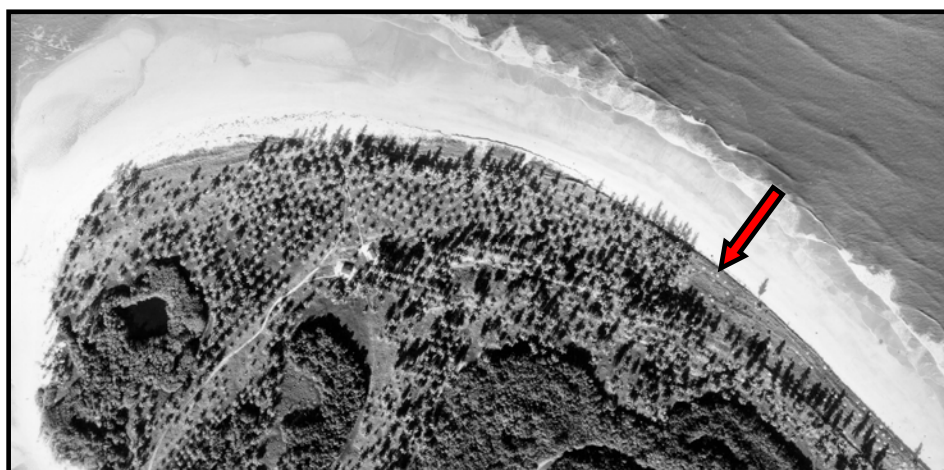


Figura 41: Representação da linha de vegetação, praia de barra de jangada, Cabo de Santo Agostinho (recorte), fotografia aérea de 1997. Fonte: CONDEPE/FIDEM.

Numa segunda etapa, utilizando o *software* AutoCad Map, abrem-se os mosaicos (ortofotocartas e imagem “QuickBird”) subdivididos em setores e vetoriza-se a linha de vegetação para cada série histórica a partir da função *draw* e *polyline*, atribuindo *layers* e suas respectivas cores para cada linha vetorizada (Figura 42).

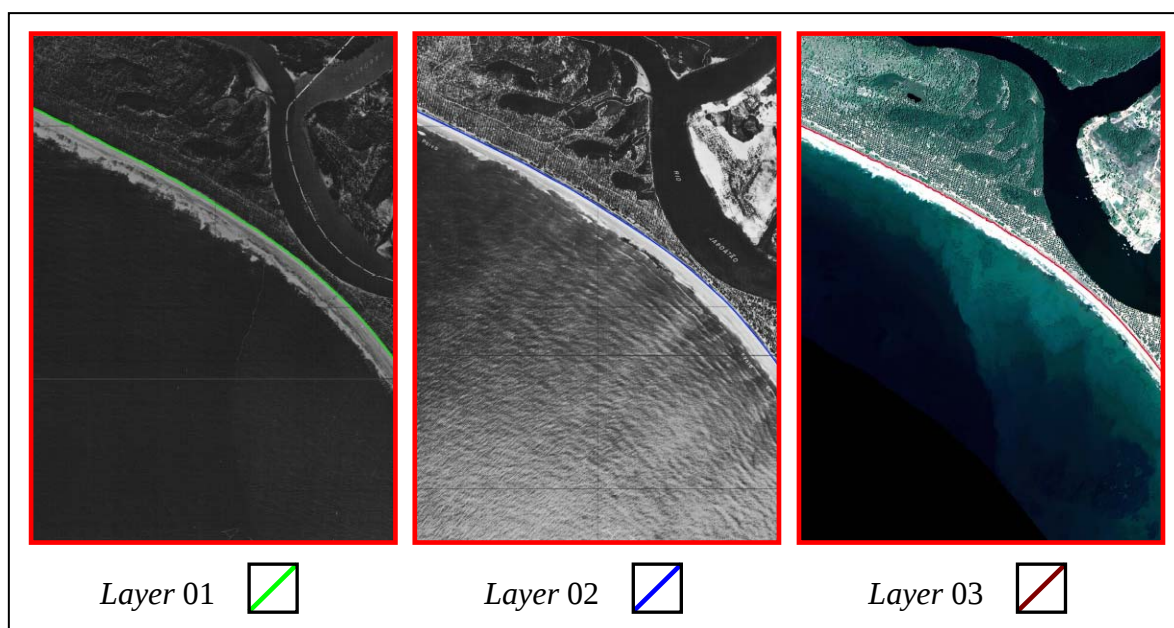


Figura 42: Vetorização da linha de vegetação (setor 1) para o período estudado.
Legenda: Layer 01 – Linha de Vegetação 1975; Layer 02 – Linha de Vegetação 1988 e
Layer 03 – Linha de Vegetação 2005.

4.7 – Confeção de Mapas de variação da Linha de Costa e Obtenção das Taxas de Variação de linha de Costa (TVLC).

Através da superposição das imagens vetorizadas, verificou-se as tendências evolutivas para a faixa litorânea da área de estudo, por setor, entre os anos de 1975 e 1988; 1988 e 2005; e 1975 e 2005. Considerando a presença da linha de vegetação, as áreas erodidas e acrescidas entre as linhas de costa foram vetorizadas e calculadas no ambiente CAD (*Computer Aided Design*), pela construção de polígonos equivalentes as área existentes entre a posição da linha de costa no ano de referência (1975) e os anos de comparação (1988 e 2005) (Figura 43).

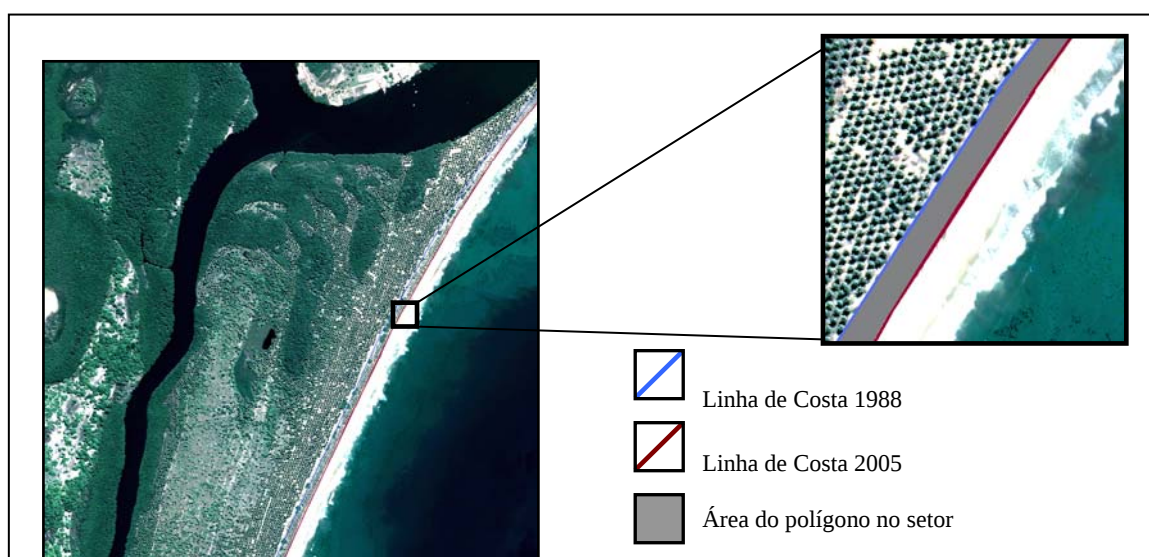


Figura 43: Exemplo do cálculo da área existente entre a posição da linha de costa entre os anos de 1988 e 2005.

Em seguida, com o objetivo de conhecer quais áreas estão sofrendo maior variação e as que merecem uma atenção prioritária em relação a outras, foram gerados 2 mapas de variação de linha de costa (Figuras 44-A e 45-A) para os períodos estudados (1975 – 1988 e 1988 – 2005).

A determinação das Taxas de Variação de Linha de Costa (TVLC) em cada setor para cada período foi calculada dividindo-se o saldo obtido (SD) (fórmula 6) entre a área acrescida (AC) e erodida (AE), pela extensão da linha de costa (ELC) vetorizada para o setor estudado (fórmula 7).

$$SD = AC - AE \quad (6.0)$$

$$TVLS = \frac{SD}{ELC} \quad (7.0)$$

Tomando-se a tabela 8 e a figura 46, por exemplo, para o cálculo da TVLC no setor 2 entre os anos de 1975 e 1988, temos:

Tabela 8: Dados representativos da TVLC durante os anos de 1975 e 1988.

PERÍODO	ÁREA ACRESCIDA (AC) m ²	ÁREA ERODIDA (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975-1988	20.719,20	2.339,47	18.379,72	8,82

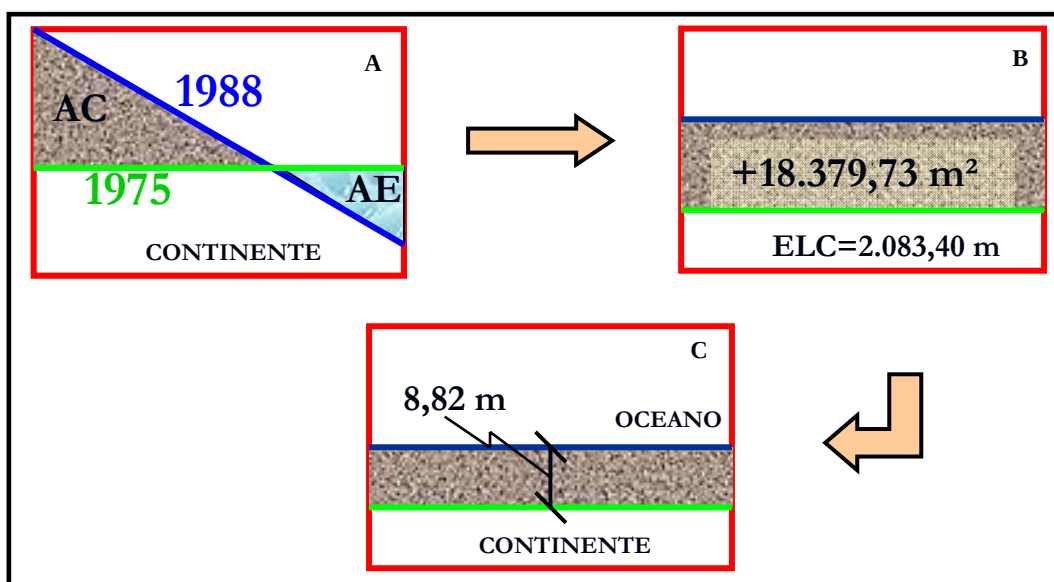


Figura 44: Representação esquemática da TVLC entre os anos de 1975 e 1988. A: áreas acrescidas (AC) e erodidas (AE) entre a posição da linha de costa durante os anos citados. B: saldo (SD) obtido entre a subtração das AC e AE. C: TVLC.

$$TVLC = \frac{20.719,20 - 2.339,47}{2.479,92}$$

$$TVLC = \frac{18.379,73}{2.083,40}$$

$$TVLC = 8,82m$$

Portanto, a TVLC obtida neste exemplo, demonstra que a linha de costa no período estudado e no setor tratado cresceu 8,82 m.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Variações da Linha de Costa

De forma a organizar e ordenar a análise das taxas de variações das linhas de costa (TVLC) entre os anos de 1975, 1988 e 2005, a área de estudo foi dividida em 6 setores praias discriminados no capítulo 4 por retângulos equivalentes e suas respectivas coordenadas geodésicas. A partir dos resultados das áreas acrescidas e erodidas em todos os setores para cada período analisado (anexos 1, 2), as TVLC da área considerada serão apresentadas e discutidas a seguir:

- **Setor 1 – Praia do Paiva e Barra de Jangada (Extensão: 2.479,92 m)**

Tabela 9: Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 1.

PERÍODO	ACRESCÇÃO (AC) (m ²)	EROSÃO (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975 – 1988	20.396,58	0,00	20.396,58	8,22
1988 – 2005	25.040,51	0,00	25.040,51	10,09
1975 – 2005	45.437,09	0,00	45.437,09	18,32

- **Setor 2 – Praia do Paiva (Extensão: 2.083,40 m)**

Tabela 10: Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 2.

PERÍODO	ACRESCÇÃO (AC) (m ²)	EROSÃO (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975 – 1988	20.719,20	2.339,47	18.379,72	8,82
1988 – 2005	18.492,97	1.567,54	16.925,43	8,12
1975 – 2005	39.212,17	3.907,01	35.305,16	16,94

- **Setor 3 – Praia do Paiva (Extensão: 2.282,33 m)**

Tabela 11: Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 3.

PERÍODO	ACRESCÇÃO (AC) (m ²)	EROSÃO (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975 – 1988	26,26	22.662,11	-22.635,85	-9,91
1988 – 2005	4.518,78	3.678,64	840,13	0,36
1975 – 2005	4.545,04	26.340,75	-21.795,71	-9,54

- **Setor 4 – Praia de Itapuama (Extensão: 1.539,18 m)**

Tabela 12: Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 4.

PERÍODO	ACRESCÇÃO (AC) (m ²)	EROSÃO (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975 – 1988	4.555,78	2.281,31	2.274,46	1,47
1988 – 2005	3.059,57	7.966,48	-4.906,91	-3,18
1975 – 2005	7.615,35	10.247,79	-2.632,44	-1,71

- **Setor 5 – Praia de Itapuama e Enseada dos Corais (Extensão: 3.700,21 m)**

Tabela 13: Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 5.

PERÍODO	ACRESCÇÃO (AC) (m ²)	EROSÃO (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975 – 1988	1.915,03	11.737,39	-9.822,36	-2,65
1988 – 2005	26.654,00	2.654,28	23.999,71	6,48
1975 – 2005	28.569,03	14.391,67	14.177,36	3,83

- **Setor 6 – Praia de Gaibú (Extensão: 2.427,10 m)**

Tabela 14: Resultados da variação da Linha de Costa para o Setor 6.

PERÍODO	ACRESCÇÃO (AC) (m ²)	EROSÃO (AE) (m ²)	SALDO (SD) (m ²)	TVLC (m)
1975 – 1988	3.833,77	18.883,58	-15.049,80	-6,20
1988 – 2005	2.053,12	12.545,46	-10.492,34	-4,32
1975 – 2005	5.886,89	31.429,04	-25.542,15	-10,52

5.1.1 – Padrão Morfodinâmicos Praiais

- **Período 1 (1975 a 1988)** – Os resultados obtidos para os 6 setores analisados (Tabela 15, Figuras 45 A e 45 B) apresentaram um total de área erodida de aproximadamente 57.903,86 m² (53%) enquanto que 51.446,62 m² (47%) marcaram as áreas de acresção ao litoral. A TVLC apresentou recuo da linha de costa com maior intensidade no trecho da praia do Paiva (setor 3), em cerca de 9,91 m, correspondendo a uma área erodida de 22.662,11 m² (20,72%). O maior avanço foi encontrado ainda na mesma praia (setor 2) com 8,82 m e área acrescida à costa de 20.719,20 m² (18,94%). O trecho da praia de Itapuama (setor 4) registrou a menor variação (1,47 m), representando 4.555,78 m² (4,16%) de área acrescida ao litoral.

Tabela 15: Resultados para as TVLC durante o período de 1975 e 1988. Recuo assinalado com sinal negativo e avanço representado pela ausência do mesmo.

SETOR	ACRESCÇÃO		EROSÃO		SALDO (SD) (m ²)	EXTENSÃO (ELC) (m)	TVLC (m)
	(m ²)	47,00%	(m ²)	53,00%			
Setor 1	20.396,58	18,65	0,00	0,00	20.396,58	2.479,92	8,22
Setor 2	20.719,20	18,94	2.339,47	2,13	18.379,72	2.083,40	8,82
Setor 3	26,26	0,02	22.662,11	20,72	-22.635,85	2.282,33	-9,91
Setor 4	4.555,78	4,16	2.281,31	2,08	2.274,46	1.539,18	1,47
Setor 5	1.915,03	1,75	11.737,39	10,73	-9.822,36	3.700,21	-2,65
Setor 6	3.833,77	3,50	18.883,58	17,26	-15.049,80	2.427,10	-6,20



VARIAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DA LINHA DE COSTA (1975 - 1988) ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS SUB-ORBITAIS E ORBITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA AVALIAÇÃO DA MORFODINÂMICA PRAIAL NO MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE.

Autor: Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida

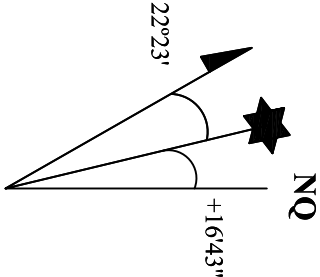
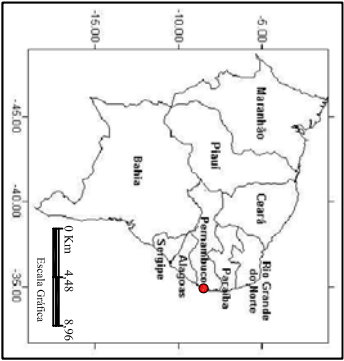
Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

LEGENDA

- Linha de Costa de 1975
- Linha de Costa de 1988
- Variação Sedimentológica da Linha de Costa

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

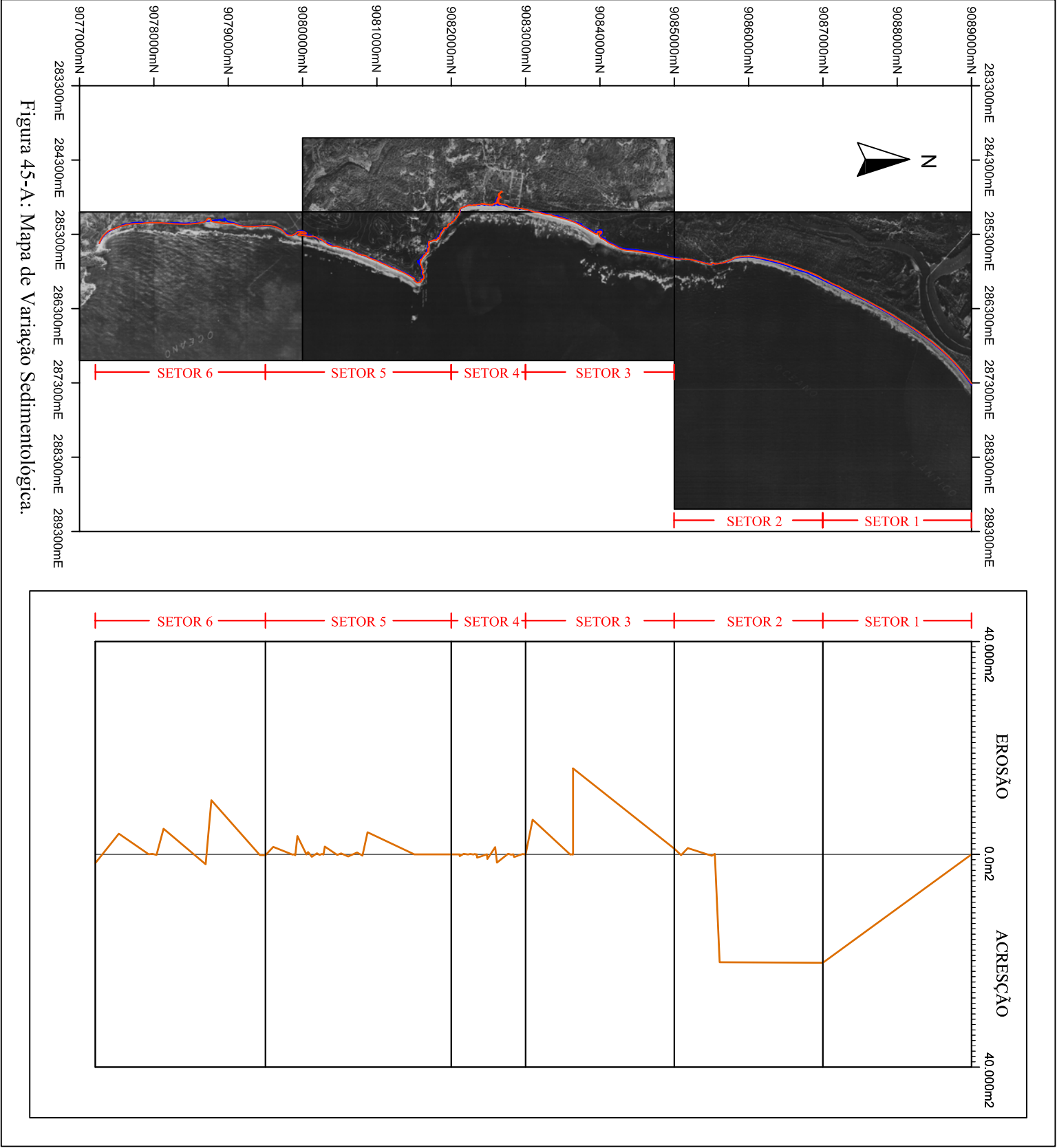
DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1985 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA ORTOFOTOCARTA.



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
CRESCER 2.8 ANUALMENTE



Figura 45-A: Mapa de Variação Sedimentológica.



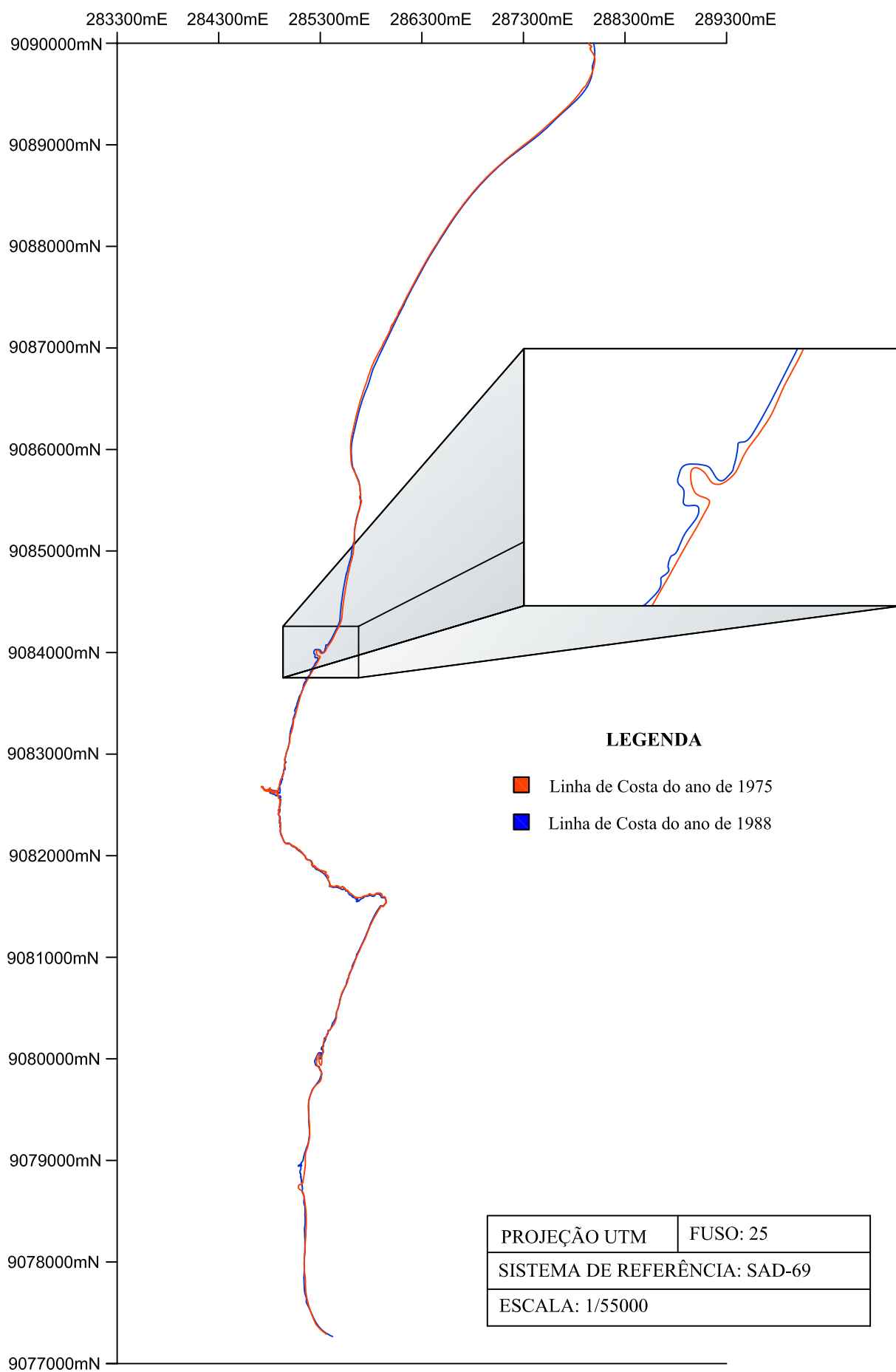


Figura 45 B: Detalhe do Mapa de Variação da Linha de Costa (1975-1988).

• **Período 2 (1988 a 2005)** – Durante o intervalo estudado (Tabela 16, Figuras 46 A e 46 B), as áreas acrescidas ao litoral apresentaram um total de 79.818,95 m² (73,77 %), enquanto que as áreas erodidas marcaram 28.412,40 m² (26,23 %) da linha de costa. A análise dos dados históricos permite concluir que existe uma tendência progradante em 4 dos 6 setores estudados, sendo o setor 1 (praia do Paiva e Barra de Jangada), o que apresentou a maior TVLC, em torno de 10,09 m, correspondendo a uma acresção do litoral em cerca de 25.040,51 m² (23,13 %). O recuo mais significativo neste período está compreendido no setor 6 (praia de Gaibu), atingindo -4,32 m, caracterizando um processo erosivo de aproximadamente 12.545,46 m² (11,59 %) de área mobilizada. A menor variação foi registrada no setor 3 (praia do Paiva), apresentando avanço da linha de costa próximo de 0,36 m, correspondendo a uma área acrescida ao litoral de 4.518,78 m² (4,17 %).

Tabela 16: Resultados para as TVLC durante o período de 1988 e 2005. Recuo assinalado com sinal negativo e avanço representado pela ausência do mesmo.

SETOR	ACRESCÇÃO		EROSÃO		SALDO (SD) (m ²)	EXTENSÃO (ELC) (m)	TVLC (m)
	(m ²)	73,77%	(m ²)	26,23%			
Setor 1	25.040,51	23,13	0,00	0,00	25.040,51	2.479,92	10,09
Setor 2	18.492,97	17,08	1.567,54	1,44	16.925,43	2.083,40	8,12
Setor 3	4.518,78	4,17	3.678,64	3,39	840,14	2.282,33	0,36
Setor 4	3.059,57	2,82	7.966,48	7,36	-4.906,91	1.539,18	-3,18
Setor 5	26.654,00	24,62	2.654,28	2,45	23.999,71	3.700,21	6,48
Setor 6	2.053,12	1,89	12.545,46	11,59	-10.492,34	2.427,10	-4,32



VARIAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DA LINHA DE COSTA (1988 - 2005) ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS SUB-ORBITAIS E ORBITAIS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA AVALIAÇÃO DA MORFODINÂMICA PRAIAL NO MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE.

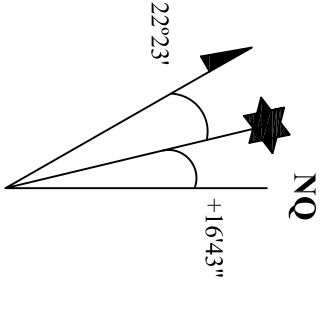
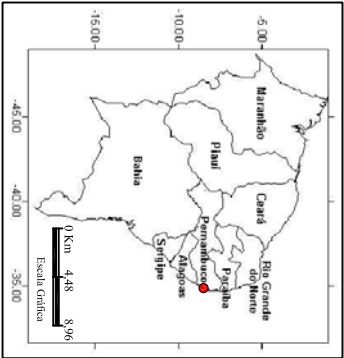
Autor: Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida
Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

LEGENDA

- Linha de Costa de 1988
- Linha de Costa de 2005
- Variação Sedimentológica da Linha de Costa

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1985 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA ORTOFOTOCARTA.



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 2.8 ANUALMENTE

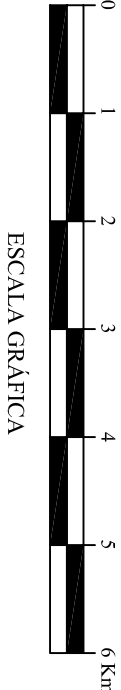
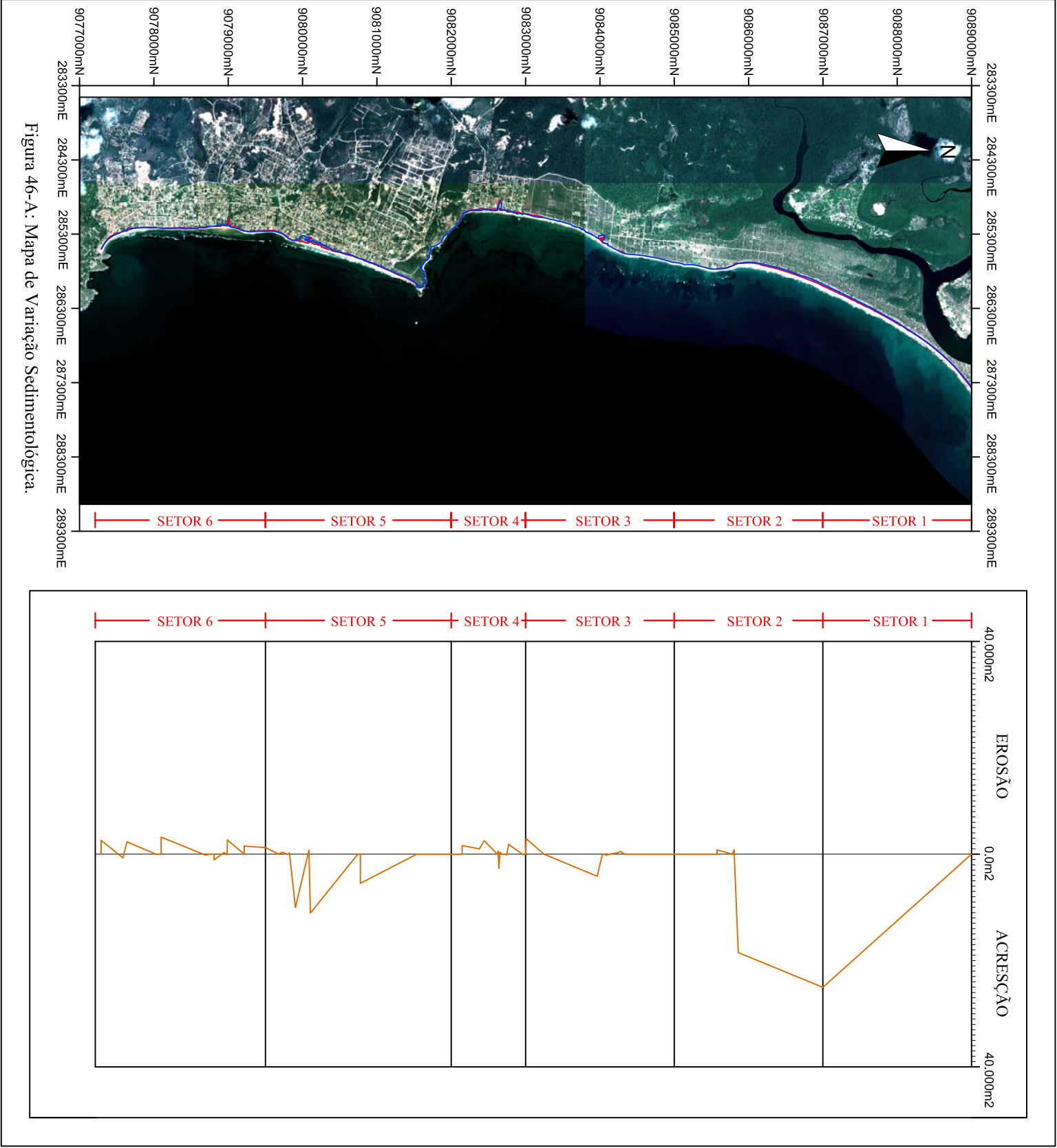


Figura 46-A: Mapa de Variação Sedimentológica.



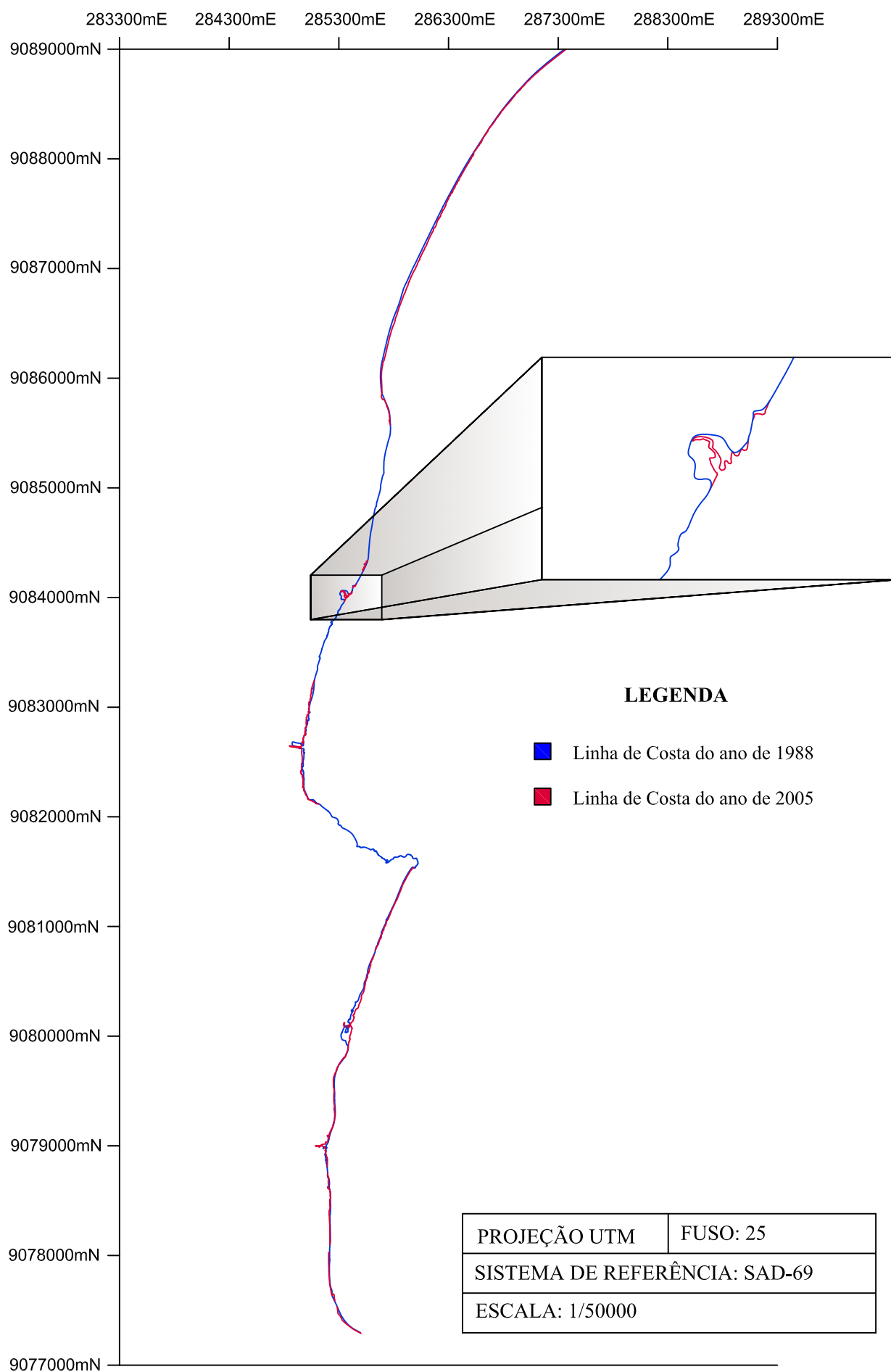


Figura 46 B: Detalhe do Mapa de Variação da Linha de Costa (1988-2005).

• **Período 3 (1975 a 2005)** – Os resultados obtidos para o intervalo de 30 anos podem ser vistos na tabela 17, permitindo, a partir das figuras (histogramas) 47 e 48, respectivamente, verificar: o comportamento da linha de costa nos setores estudados através das TVLC; comparar as áreas erodidas e acrescidas ao litoral, e a partir das tabelas 18 e 19 obter, na devida ordem temporal, os valores médios e as taxas anuais de recuo e acreção no litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho.

Tabela 17: Resultados do comportamento da linha de costa entre os anos de 1975 e 2005.

SETOR	1975-1988		1988-2005		EXTENSÃO (ELC)(m)	TVLC (m)	
	ACRESCÇÃO (m ²)	EROSÃO (m ²)	ACRESCÇÃO (m ²)	EROSÃO (m ²)		1975-1988	1988-2005
Setor 1	20.396,58	0,00	25.040,51	0,00	2.479,92	8,22	10,09
Setor 2	20.719,20	2.339,47	18.492,97	1.567,54	2.083,40	8,82	8,12
Setor 3	26,26	22.662,11	4.518,78	3.678,64	2.282,33	-9,91	0,36
Setor 4	4.555,78	2.281,31	3.059,57	7.966,48	1.539,18	1,47	-3,18
Setor 5	1.915,03	11.737,39	26.654,00	2.654,28	3.700,21	-2,65	6,48
Setor 6	3.833,77	18.883,58	2.053,12	12.545,46	2.427,10	-6,20	-4,32

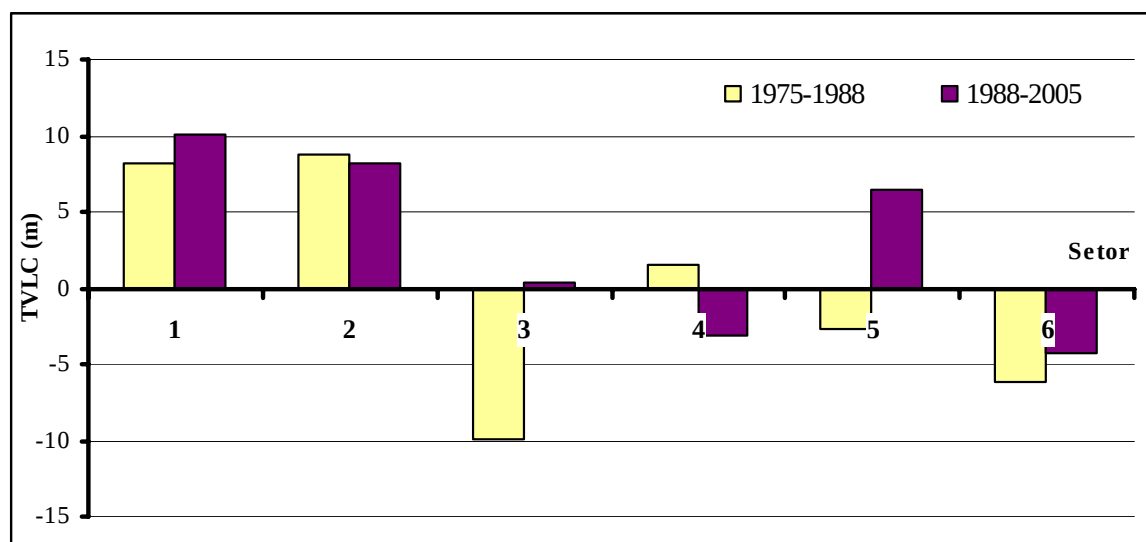


Figura 47: Histograma do comportamento da Linha de Costa a partir das TVLC entre os períodos de 1975-1988 e 1988-2005.

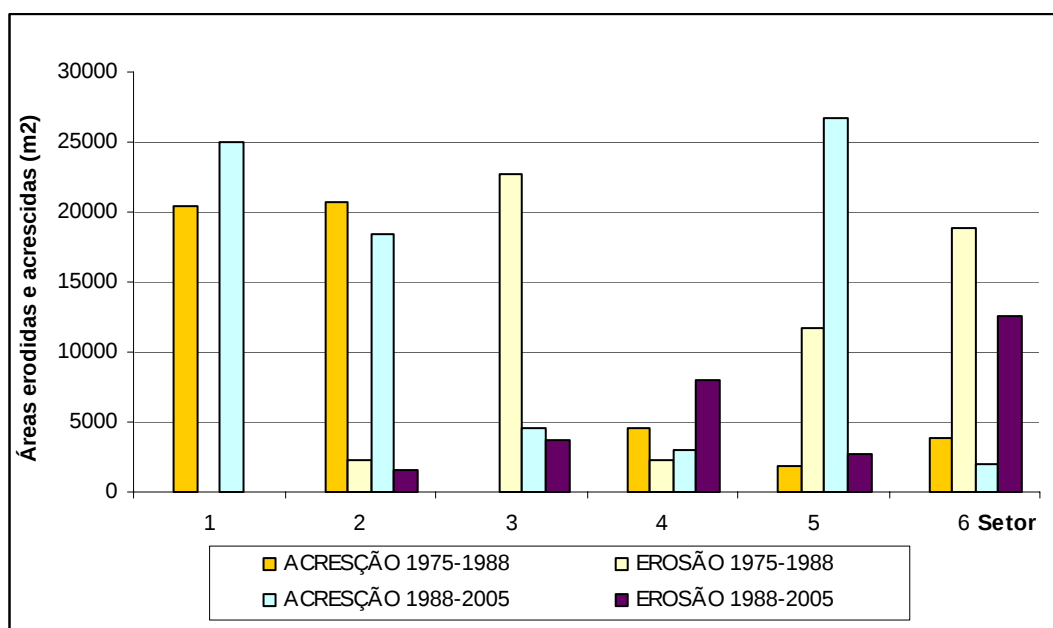


Figura 48: Histograma das áreas erodidas e acrescidas ao litoral durante os períodos de 1975-1988 e 1988-2005.

A determinação dos valores erosivos dos recuos e avanços médios em cada setor (Tabela 18) corresponde à divisão do total de área erodida e acrescida neste pela extensão da linha de costa no trecho analisado. As figuras (histogramas) 49 e 50 permitem verificar a o comportamento da faixa litorânea nos setores estudados durante os intervalos de 1975 a 1988 e de 1988 a 2005.

Tabela 18: Comportamento (recoo e avanço) da Linha de Costa entre os anos de 1975 e 2005.

Setor	EXTENSÃO (ELC)	EROSÃO		ACRESCÇÃO		RECOO MÉDIO (RM)		AVANÇO MÉDIO (AM)	
		1975/1988 (m²)	1988/2005 (m²)	1975/1988 (m²)	1988/2005 (m²)	1975/1988 (m)	1988/2005 (m)	1975/1988 (m)	1988/2005 (m)
1	2.479,92	0,00	0,00	20.396,58	25.040,51	0,00	0,00	8,22	10,10
2	2.083,40	2.339,47	1.567,54	20.719,20	18.492,97	1,12	0,75	9,94	8,88
3	2.282,33	22.662,11	3.678,64	26,26	4.518,78	9,93	1,61	0,00	1,97
4	1.539,18	2.281,31	7.966,48	4.555,78	3.059,57	1,48	5,18	2,95	2,00
5	3.700,21	11.737,39	2.654,28	1.915,03	26.654,00	3,17	0,72	0,52	7,20
6	2.427,10	18.883,58	12.545,46	3.833,77	2.053,12	7,78	5,17	1,58	0,85

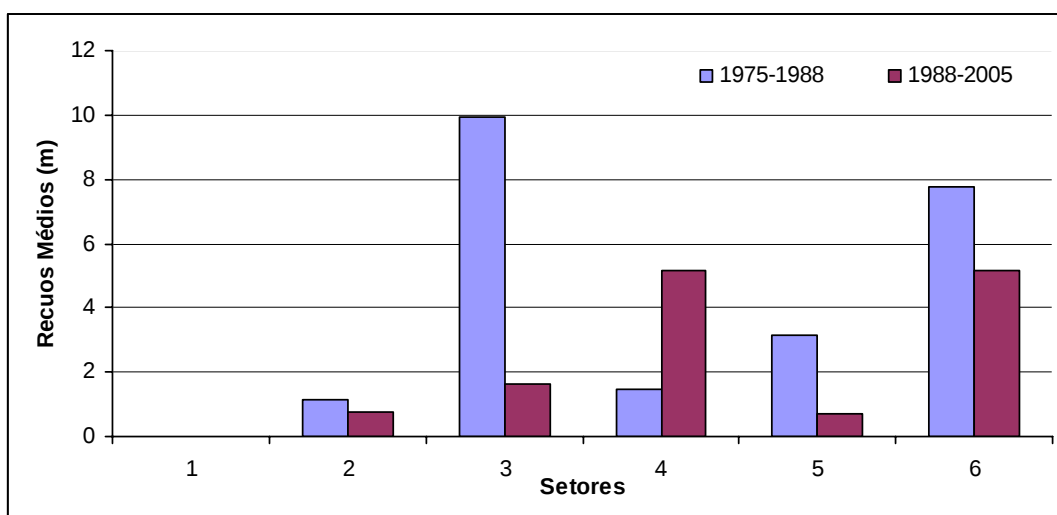


Figura 49: Histograma mostrando os recuos médios da linha de costa nos setores estudados.

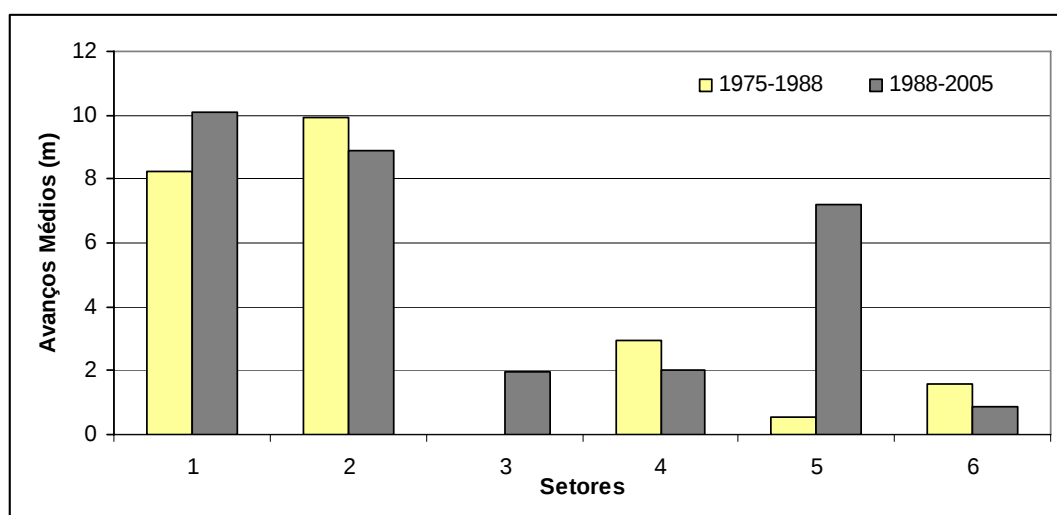


Figura 50: Histograma comparando os avanços médios da linha de costa nos setores estudados.

As taxas médias anuais de variação da linha de costa (tabela 19, Figuras 51 e 52) podem auxiliar a obter possíveis tendências de evolução da linha de costa. Porém por se tratar de uma das feições mais dinâmicas do planeta, onde sua posição no espaço muda constantemente, consequência de fatores naturais ou relacionados as intervenções antrópicas, os resultados destas taxas expressam valores que traduzem o comportamento em 3 anos distintos, não refletindo portanto eventos ocorridos em períodos mais curtos que o analisado, como também possíveis alterações a longo prazo. Portanto, estas taxas assim obtidas permitem, em termos médios, uma comparação com outros estudos de recuo da linha de costa em médio prazo no Município do Cabo de Santo Agostinho.

Tabela 19: Taxas médias anuais de recuos e avanços da linha de costa.

Setor	RECUO MÉDIO (RM)		AVANÇO MÉDIO (AM)		TAXAS MÉDIAS ANUAIS DE RECUO		TAXAS MÉDIAS ANUAIS DE AVANÇO	
	1975/ 1988 (m)	1988/ 2005 (m)	1975/ 1988 (m)	1988/ 2005 (m)	1975/ 1988 (m)	1988/ 2005 (m)	1975/ 1988 (m)	1988/ 2005 (m)
1	0,00	0,00	8,22	10,10	0	0	0,63	0,59
2	1,12	0,75	9,94	8,88	0,08	0,04	0,76	0,52
3	9,93	1,61	0,00	1,97	0,76	0,09	0	0,11
4	1,48	5,18	2,95	2,00	0,11	0,30	0,22	0,11
5	3,17	0,72	0,52	7,20	0,24	0,04	0,04	0,42
6	7,78	5,17	1,58	0,85	0,59	0,30	0,12	0,05

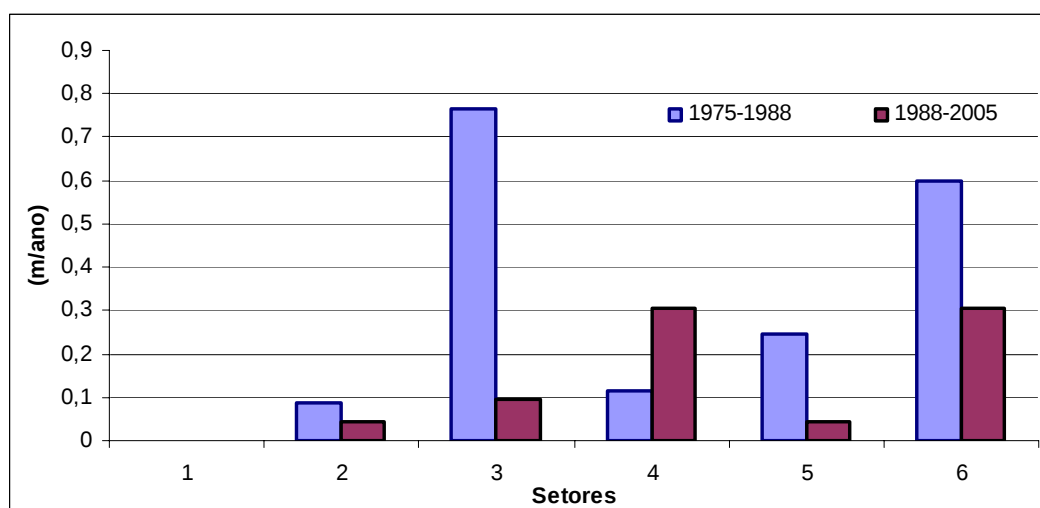


Figura 51: Histograma das taxas médias anuais de recuo por setor.

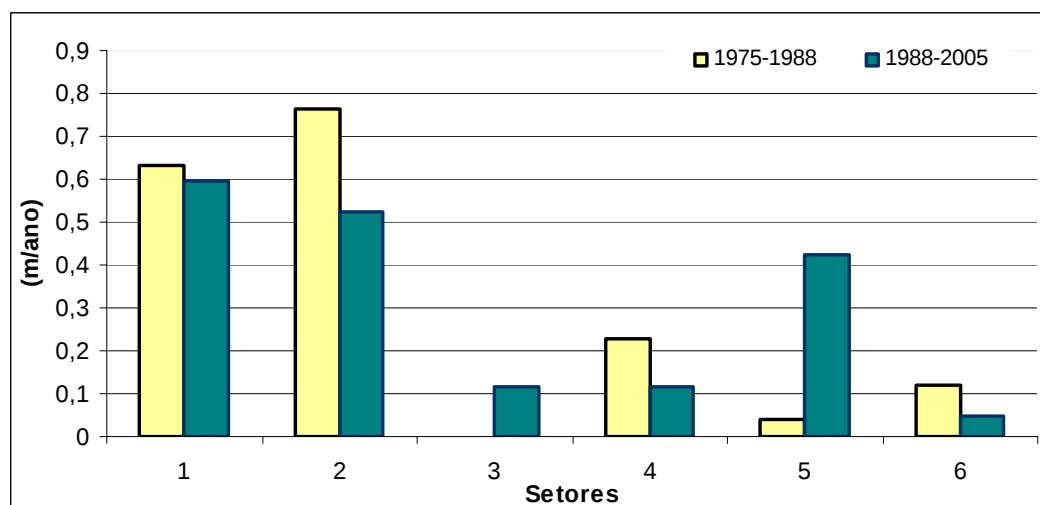


Figura 52: Histograma das taxas médias anuais de avanço por setor.

6. CONCLUSÕES

A análise das taxas de variação da linha de costa do Município do Cabo de Santo Agostinho, litoral sul de Pernambuco, para as épocas estudadas e em cada um dos setores trabalhados, utilizando os métodos já referidos, possibilitou obter as seguintes conclusões:

Os estudos resultaram em uma série de informações sobre o comportamento das praias e das tendências gerais de evolução na região. Verificou-se que as variações da linha de costa não se manifestaram com a mesma intensidade ao longo de todos os setores nos períodos observados (1975-1988 e 1988-2005).

Levando em consideração os processos erosivos e de acreção em cada trecho, pode-se dizer, em termos médios, que:

O setor 1 (Praias de Barra de Jangada e do Paiva) não registrou processos erosivos nos dois períodos estudados, porém apresentou tendência a acreção, alcançando cerca de 8,22 m de avanço da linha de costa entre os anos de 1975 e 1988, continuando a crescer mais 10,10 m no segundo período, função da possível carga de sedimentos que aportaram ao litoral. Aproximadamente 20.396,58 m² (18,65%) e 25.040,51 m² (23,13%) de avanço da costa foi calculado para as praias, este fato pode ser consequência de sua proximidade com a foz do rio Jaboatão e a dinâmica fluvial predominante sobre o marinho.

No setor 2 (Praia do Paiva) o recuo da linha de costa entre os dois períodos estudados não indicou modificações marcantes, regredindo na devida ordem temporal de 1,12 m para 0,75 m, permanecendo a expressiva tendência a acreção já constatada no primeiro setor, cerca de 9,94 m, decrescendo no segundo momento para 8,88 m. A grande quantidade de sedimentos que ancoraram à faixa de praia contribuíram, respectivamente, com cerca de 20.719,20 m² (18,94%) e 18.492,97 m² (17,08%) de área adicionadas à costa, erodindo entre os dois intervalos tratados apenas 2.339,47 m² (2,13%) e 1.567,54 m² (1,44%).

O trecho correspondente ao setor 3 (Praia do Paiva) registrou o recuo médio mais intenso da posição da linha de costa, atingindo o pico de 9,93 m entre os anos de 1975 e 1988, passando no segundo período estudado para a quase estabilidade de 1,61 m. Verificou-se ainda que as acreções médias indicaram valores modestos nos dois momentos, apresentando movimentação (avanço) da linha de costa apenas entre os anos de 1988 e 2005, de cerca de 1,97 m. A partir dos resultados citados, nota-se que no último intervalo estudado, a linha de costa praticamente se manteve estável, indicando, em termos médios, um saldo acrescivo de 0,36 m.

O setor 4 (Praia de Itapuama) marcado por ser o menor trecho estudado, com 1,58 km de extensão, caracteriza-se por apresentar costões rochosos ao sul da linha de costa e por uma intensa ocupação antrópica na pós-praia quando comparado ao primeiro período avaliado. Os resultados obtidos neste trecho indicaram em relação aos processos erosivos, valores em torno de 1,48 m no primeiro momento analisado, alcançando entre os anos de 1988 e 2005, um recuo médio da linha de costa de aproximadamente 5,18 m. Ao verificar os valores correspondentes as acreções, nota-se, entre os anos trabalhados, uma modesta decresção dos mesmos, marcando na devida ordem temporal 2,95 m e 2,00 m de avanço da linha de costa.

O setor 5 (Praias de Itapuama e Enseada dos Corais) caracteriza-se pela presença de cordões rochosos ao norte da área, apresentando em seguida, na direção norte-sul, ocupações antrópicas mais intensas que as constatadas no setor anterior. Apesar das linhas de *beachrocks* em parte de sua extensão, que funcionam como anteparo natural contra a incidência de ondas na linha de costa, este trecho registrou recuo médio em torno de 3,17 m, passando no segundo período para próximo do equilíbrio hidrodinâmico, ou seja, 0,72 m. As acreções determinaram avanço da faixa litorânea entorno de 0,52 m entre os anos de 1975 e 1988, alcançando 7,20 m no segundo momento estudado.

O setor 6 (Praia de Gaibu), apesar de conter em parte de sua área, a linha de *beachrocks*, continuação da encontrada no trecho anterior, somado a existência de um pequeno braço do rio Jaboatão, que contribuem respectivamente com a proteção da linha de costa e com a carga de sedimentos que aportam ao litoral, apresentou processos erosivos nos dois períodos trabalhados, indicando recuos médios de 7,78

m e 5,17 m na devida ordem temporal. Entre outros fatores, o alto grau de ocupação antrópica na região contribui em parte com o recuo da linha de costa, pois é responsável pela imobilização da faixa de praia, impossibilitando a remobilização dos sedimentos. As acreções verificadas determinaram avanços modestos nos dois momentos, cerca de 1,58 m entre os anos de 1975 e 1988, regredindo no período seguinte para 0,85 m.

No geral, entre as áreas estudadas, verifica-se que os setores 4 e 6 apresentaram tendências erosivas nos dois momentos, enquanto que nos setores 1 e 2 prevaleceu avanços da linha de costa nos períodos estudados. Os setores 3 e 5 indicaram alternâncias (avanços / recuos) da linha de costa. Entre áreas erodidas e acrescidas ao litoral, constatou-se uma tendência ao avanço da linha de costa, apresentando um total de 131.265,57 m² de áreas adicionadas, enquanto que 86.316,26 m² determinaram as áreas erodidas, marcando temporalmente, acréscimos e recuos de 120,77% e 79,23% respectivamente em relação a posição da linha de costa no ano base de 1975.

Quanto a vulnerabilidade das praias, as Taxas de Variação da Linha de Costa (TVLC) indicaram a partir do saldo obtido entre a subtração dos somatórios das acreções e das erosões em cada setor, um valor representativo dos processos (erosão/acresção) que predominaram no setor estudado. Fazendo-se notar, durante o período mais recente (1988 a 2005), que as praias de Itapuama (setor 4) e Gaibú (setor 6) apresentaram os recuos da linha de costa mais expressivos, cerca de 3,18 m e 4,43 m.

No decorrer do estudo houveram limitações encontradas durante o emprego da metodologia proposta, dentre elas está a utilização das ortofotocartas P & B, que por possuírem naturalmente tons de cinza que não refletem as cores encontradas nos objetos fotografados, dificultou, em alguns momentos, a interpretação e vetorização da linha de vegetação dos anos de 1975 e 1988.

As fotografias aéreas pancromáticas P & B dos anos de 1974, 1986 e 1997, em conjunto com as ortofotocartas pancromáticas coloridas do ano de 2006 foram utilizadas, dentre os materiais cartográficos obtidos, como material auxiliar solucionando possíveis dúvidas durante a interpretação da linha de vegetação nas imagens “QuickBird” e, quando possível, nas imagens de 1975 e 1988.

As imagens “QuickBird” demonstraram ser uma importantíssima ferramenta na avaliação das mudanças ocorridas na área experimental, pois a resolução espacial da mesma, como também por apresentar as feições em suas tonalidades o mais próximas do real, facilitaram a interpretação e vetorização da linha de costa de maneira mais rápida e precisa quando comparado ao mesmo processo executado anteriormente nas ortofotocartas P & B obtidas junto a Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM).

Apesar das limitações citadas acima, os resultados obtidos são de grande importância para a determinação das tendências evolutivas no litoral do Município do Cabo de Santo Agostinho, fornecendo subsídios para uma avaliação de possíveis impactos gerados por fatores perturbadores da dinâmica sedimentar costeira, como também auxiliar com outros estudos de evolução de linha de costa para a região litorânea, fornecendo dados históricos à órgãos e entidades de planejamento urbano, auxiliando indiretamente no ordenamento racional da faixa litorânea.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS, M. M., **Os Morros da Região Metropolitana do Recife**. Disponível em: <http://www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/morros/cap01.pdf>. Último acesso: 04 de janeiro de 2008.
- ALMEIDA, F. F. M. **Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Div. de Geol., Monografia, 1995. (13): 181 p.
- AMORIM, A.. **Utilização de modelos estereoscópicos híbridos na atualização cartográfica**. São Carlos/SP. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo, 2000. 138 p.
- ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; KOGUT, J. S.; PRAZERES FILHO, H. J.; SOUZA, M. C. **Variação das características sedimentológicas através de uma sucessão de cordões holocênicos, como função da idade deposicional, na ilha do Mel (PR)**. Bol. Paranaense de Geoc., 1996. 44: 77-86.
- ASMUS, M. e KITZMANN, D.. **Gestão Costeira no Brasil Estado Atual e Perspectivas**: Versão Preliminar. Programa de Apoyo a la Gestión Integrada en la Zona Costera Uruguay, 2004. 63 p.
- ASSIS, H. M. B. **Cartografia Geomorfológica do Município do Cabo de Santo Agostinho/PE**. Recife: CPRM/FIDEM. (Série Cartas Temáticas, Volume 04), 1999. 32 p.
- BASTOS, E., OLINTO, A., GONDIM, D. O., LINS, M. V. B., FALCÃO, D. B., ABU-ADIYA, S. N., ALBUQUERQUE, V. **Perfil socioeconômico e ambiental (Cabo de Santo Agostinho)**: Projeto Orla, 2003. 158 p.
- BATISTA, G. T. **Apostila de Fotointerpretação**. 2004, Ed. Autor. Disponível em: www.agro.unitau.br/sensor_remoto/apostila_bi2.pdf. Último acesso: 23 de junho de 2008.
- BATISTA, E. M.; FILHO, P. W. M. S.; SILVEIRA, O. F. M. **Monitoramento da linha de costa do Parque Nacional do Cabo Orange através da análise multi-temporal de imagens de sensores remotos**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Florianópolis, INPE, 2007. 6621-6628 p.
- BERBERAN, A. **Elementos de fotogrametria digital**. 2003, Ed. Autor.

- BURTCH, R. **History of photogrammetry**. The Center for Photogrammetric Training. Surveying Engineering Department. Ferris State University. Disponível em: <http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/history.pdf>. Último acesso: 14 de janeiro de 2008.
- BRASIL. **Lei nº 7.667, Pará 16 de maio de 1988: I Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro**, 2007. Disponível em www.planalto.gov.br. Último acesso: 12 de dezembro de 2007.
- BRITO, J. e COELHO, L.. **Fotogramtria Digital**. 1º ed. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002.
- BRUNN, P. e GERRITSEN, F. **Stability of Coastal Inlets**. Amsterdam: North-Holland Pub. Co. 1960. 123p.
- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2004, 219 p.
- CEPD. **Estimativa do Quantitativo de Indivíduos em Multidões**. Rio de Janeiro, Centro de Estudos e Pesquisas de Desastres, 2006, 61p.
- CEPEMAR. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Itaúnas**: Encarte 04-Diagnóstico UC (Declaração de Significância). Relatório Técnico, Vitória-ES, Petrobrás, Revisão 01, 2004. 245 p.
- CPRH. **Diagnóstico sócioambiental (Litoral Sul de Pernambuco – Maio de 1999)**, 2001. 89 p.
- CPRH. **Setorização da Zona Costeira**. GERCO/PE. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ctudo-secoes-sub.asp?idsecao=200>. Último Acesso: 07 de janeiro de 2008.
- CUNHA, E. M. S. **Evolución Actual del Litoral de Natal – RN (Brasil) y Sus Aplicaciones a la Gestión Integrada**. Barcelona. Tese de Doutorado. Programa de Doutorado em Ciências do Mar / Universidade de Barcelona, 2004. 132 p.
- DIAS, J. M. A.; FERREIRA, O. M. F. C.; PEREIRA, A. P. R. R. **Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré**. 1994. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/e_b_EspNaz_E.html. Último acesso: 18/12/2007.

DIGITALGLOBE. **QuickBird Imagery Products**: Product Guide. Revision 4.7.1. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/index.php/6>. Último Acesso: 13 de Março de 2008.

DOMINGUES, J.M. L. **Avaliação Regional do Problema da Erosão na Região Nordeste do Brasil**. Projeto de Pesquisa: Processos, Sedimentação e Problemas Ambientais na Zona Costeira. Curso de Pós-Graduação em Geologia / UFBA, 2007. 3 p.

DUARTE, X. R. **Caracterização Morfo-Sedimentológica e Evolução de Curto e Médio Prazo das Praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/Jaboatão dos Guararapes – PE**. Recife. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências/UFPE, 2002. 141 p.

EURIMAGE. **Eurimage products and services: QUICKBIRD**. Disponível em: www.urimage.com/Products/qb.shtml. Último Acesso: 13 de Março de 2008.

GONÇALVES, G. R. **Elementos de Fotogrametria Analítica**. Departamento de Matemática da FCTUC. Coimbra, 2006. 77p.

GONZALES, A. **Visión Esterescópica**. 2004. Disponível em: <http://www.users.red3i.es/~stereoweb/vision.htm>. Acesso em: 06 de março de 2007.

GREGÓRIO, M. N., ARAÚJO, T. C. M. & VALENÇA, L. M. M. **Variação sedimentar das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) Brasil**. In: *Tropical Oceanography*, 2004. 39-52 p.

IBGE. **Contagem da População 2007**. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/PE.pdf. Último acesso: 09 de julho de 2007.

INPE. **Satélites Meteorológicos: o que são e como se usam**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/radsat/satel1.htm>. Último acesso: 23 de junho de 2008.

ITEP. **Boletim Agrometeorológico – Nº 03/2008**. Disponível em: <http://www.itep.br/meteorologia/boletim.htm>. Último acesso: 10 de junho de 2008.

JUNIOR, L. V.; GOULART, I. B.; MARTINS, M. R. **Noções de Aerofotogrametria**. Notas de aula. Escola técnica federal de Santa Catarina. Disponível em: www.cefetsc.edu.br/~geomensura/download/aerofotogrametria2.pdf. Último acesso: 14 de janeiro de 2008.

- JÚNIOR, J. B. T.; OUVENEY, M. I. M.; UBERT, M. S.; ANTUNES, M. A. H.. **Avaliações de Imagens Ikonos II e QuickBird para obtenção de Bases Cartográficas para cadastro técnico municipal**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais. Florianópolis, UFSC, 2006. 6p.
- KAZMIERCZAK, M. L., TONIOLO, E. R., DANTAS, M. J., BAÍA, P. F. S., CASTRO, G. A. O. R. **Identificação de Áreas de Preservação Florestal, Através de Técnicas de Geoprocessamento: Abordagem Preliminar**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Salvador, INPE, 1996. 181-185 p.
- KÖPPEN, W. **Climatologia con un estudio de los climas de la tierra**. Tradução de Pedro R. H. Peres. Fondo de Cultura Económica. México, 1948. 479 p.
- LESSA, G. **Ambientes deposicionais da margem continental**. In: Notas de aulas. Departamento de sedimentologia. Salvador, UFBA, 2007. Disponível em: http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Aula_14.pdf. Último acesso: 07 de Janeiro de 2008.
- LIRA, A. R. A. **Caracterização Morfológica e Vulnerabilidade do Litoral entre as Praias da Enseadinha e Maria Farinha, Paulista – PE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco – CTG, 1997. 96p.
- MADRUGA FILHO, J. D. **Aspectos Geoambientais entre as Praias do Paiva e Gaibu, Município do Cabo de Santo Agostinho (Litoral Sul de Pernambuco)**. Recife. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências/UFPE, 2004. 272 p.
- MAFRA, L. C. A. **Estudo da Dinâmica Costeira da Região da Foz do Rio Piranhas-Açu para Geração de Mapas de Sensibilidade do Litoral ao Derramamento de Óleo**. Natal. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica/UFRN, 2005. 138 p.
- MAIA, L. P., LACERDA, L. D., MONTEIRO, L. H. U., SOUZA, G.M. **Estudo das Áreas de Manguezais do Nordeste do Brasil: Avaliação das área de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2005. 62 p.
- MANSO, V. A. V. **Definição dos Pontos de Contorno da Linha de Preamar Máxima Atual do Litoral do Município de Ipojuca – PE**: Relatório Final. Recife, CPRH, 2003. 36 p.
- MARQUEZ, M. R. K. **Morfodinâmica de um segmento da praia da ilha Comprida, litoral sul do Estado de São Paulo**. São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2007. 137 p.

- MELO, F.T.L. **Aspectos Morfo-Dinâmicos do Complexo Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, Região Costeira Sul Oriental do RN.** Natal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000. 71 p.
- MONTEIRO, C. M.. **Estudo morfodinâmico de uma praia de macromaré no litoral amazônico, Ajuruteua-PA (Brasil).** Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Pará, 2006. 32 p.
- MOREIRA, M. A. **Sistemas Sensores:** Atualização do livro Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. Viçosa, INPE, 2001.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** Viçosa, 3, UFV, 2004, 421 p.
- MIGUENS, A. P. **Navegação:** a ciência e a arte – Navegação Costeira, estimada e em águas restritas. V. 1. Rio de Janeiro: DHN, 2000.
- MUEHE, D. **Definição de Limites e Tipologias da Orla sob os Aspectos Morfodinâmicos e Evolutivo.** In: Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA e MPO, 2004 (Projeto Orla), 104 p.
- MUEHE, D. **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 476 p.
- NASCIMENTO JUNIOR, D. R. **Morfologia e Sedimentologia ao Longo do Sistema Praial – Duna Frontal de Ilha Comprida, SP.** São Paulo. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar/USP, 2006. 156 p.
- OLINTO, A., GONDIN, D., BASTOS, E., ESPINDULA, J.. **Programa de Gerenciamento Costeiro: Experiência do Programa em Pernambuco.** In: Gestão Costeira Integrada, Pernambuco, 2008. 5 p.
- OLIVEIRA, S. M. C. **Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve).** Lisboa. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências / Universidade de Lisboa, 2005. 137 p.
- PEREIRA, S. P. **Variabilidade da Orla Oceânica do Rio Grande do Sul e Suas Implicações na Elaboração de Planos de Contingência: Aspectos Morfodinâmicos, Sedimentológicos e Geomorfológicos.** Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2005. 161 p.

- PETRIE, G. **Optical imagery from airborne & spaceborne platforms, comparisons of resolution, coverage & geometry for a given ground pixel size.** Disponível em: <http://www.geoinformatic.com>. Último acesso em: 2 jul. 2002.
- PREFEITURA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO. **Nossa Cidade.** Disponível em: <http://www.cabo.pe.gov.br/historia.asp>. Último acesso: 09 de julho de 2007.
- RAMOS, P. R.; FLORENTIN, C. **Fotogrametria: A base para o mapeamento.** In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais. Florianópolis, COBRAC, 2004. 8p.
- REINECK, H. E. e SINGH, J. B., 1975. **Depositional sedimentary environments.** Berlin: Springer-Verlag. New York, 439p.
- RIBEIRO, J. C.. **Fotogrametria Digital.** Viçosa. Notas de aula. Deptº de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa, 2002. 13 p.
- ROCHA, C. H. O.; PIORNO, J. L.; FREIRE, R. R.; MEDINA, I. A. **Uma Discussão Histórica sobre a Fotogrametria.** In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2003.
- SILVA, I. R.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; SILVA, S. B. de M.. **Potencial de Danos Econômicos Face à Erosão Costeira Relativo às Praias da Costa do Descobrimento - Litoral Sul do Estado da Bahia.** In: X Congresso Brasileiro da ABEQUA, 2005, Guarapari. CD, 2005.
- SILVEIRA, M. T. **Visualização e Medição Estereoscópicas de Imagens Fotogramétricas Digitais.** Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia de Computação. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2005. 169 p.
- SISCOUITO, R. A.; SZENGBERG, F.; TORI, ROMERO; RAPOSO, A. B.; CELES, W.; GATTAS, M. **Realidade Virtual: conceitos e tendências.** Livro do Pré-Simpósio SVR 2004, Cap. 11, p. 179 – 201. Editora Mania de Livro, São Paulo, 2004.
- SOUZA, J. C. **O uso da Estereoscopia como Ferramenta de Baixo Custo em Projetos de Engenharia.** In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais. Florianópolis, COBRAC, 2002. 17p.
- SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha.** Queiroz T. A. Ed. São Paulo, 1992.

- TESSLER, M. G. e GOYA, S. C. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro**. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, nº17, 2005, (11-23 p).
- TREBOSEN, H. ; DEFFONTAINES, B. ; CLASSEAU, N. ; KOUAME, J. ; RUDANT, J.P. **Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images**. *C. R. Geoscience*, v. 337, p. 1140–1153, 2005.
- VITÉM, G. **Projeto Lógico da Sistemática de Monitoramento da Morfodinâmica da Linha de Costa**: Produto 2. In: Secretaria de estado do desenvolvimento Social, Urbano e Meio Ambiente - Estado de Santa Catarina. 2004. 54 p. Disponível em: http://www.sds.sc.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=46&lang=. Último acesso: 05/11/2007.
- WOLF, PAUL R.; DEWITT, BON, A.. **Elements of photogrammetry: with applications in GIS**. 3º ed. Mc Graw Hill. 2000, 608 p.
- ZANARDI, R. P.; ROLIM, S. B. A.; JÚNIOR, C. B.; ALMEIDA, C. A. M. **Análise de Processamento e Georreferenciamento em Imagens do Satélite CIBERS-1**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais. Goiânia - GO, p. 16-21, 2005.

ANEXOS

(1)

Polígonos de Áreas Erodidas e Acrescidas para o Período de 1975-1988		
POLÍGONOS	ACRESÇÃO (m²)	EROSÃO (m²)
SETOR 1		
1	3.941,6870	
2		1.384,4137
3	34.119,1277	
SETOR 2		
4	20.277,8721	
5		101,1252
6	288,7649	
7		1.172,2139
8	152,5669	
9		1.066,1351
SETOR 3		
10		16.145,6721
11		6.516,4397
12	26,2649	
SETOR 4		
13	7,0755	
14		57,93
15	509,2725	
16		19,9907
17	70,3022	
18		119,9060
19	1.999,0950	
20		436,7856
21		1.363,5254
22	883,8784	
23		17,8164
24	629,9680	
25		17,0850
26	44,1077	
27		63,4678
28	36,5278	
29		81,1348
30	30,1636	
31		103,6738

32	345,3953	
SETOR 5		
33		4.152,7361
34	241,6702	
35		335,2546
36	406,6658	
37		173,3438
38	107,8713	
39		1.450,4238
40	49,2153	
41		69,8894
42	123,3513	
43		191,5950
44	462,3875	
45		422,7964
46	34,1543	
47		1.929,5427
48	92,0571	
49		1.601,3262
50	168,0247	
51		5,0813
52	57,2007	
53		1.405,4045
54	172,4392	
SETOR 6		
55	163,0394	
56		10.173,9726
57	1.880,8826	
58		4.813,0747
59	103,4502	
60		16,9690
61	15,7317	
62		3.879,5654
63	1.670,6697	
TOTAL		
POLÍGONOS	ACRESCÇÃO (m²)	EROSÃO (m²)
63	69.110,85	59.288,27

ANEXOS

(2)

Polígonos de Áreas Erodidas e Acrescidas para o Período de 1988-2005		
POLÍGONOS	ACRESÇÃO (m²)	EROSÃO (m²)
SETOR 1		
1	25.040,5112	
SETOR 2		
2	18.492,9768	
3		775,7317
4		791,8108
SETOR 3		
5		496,8040
6		271,1311
7	193,4937	
8	92,0217	
9	72,3411	
10	4.160,9241	
11		2.910,7112
SETOR 4		
12	79,6035	
13		1.846,9697
14	171,1206	
15		19,6301
16	62,9851	
17		29,1018
18	0,6289	
19		380,2673
20	2.688,3013	
21		555,2825
22	56,9309	
23		2.531,2817
24		982,7603
25		1.621,1931
SETOR 5		
25	5.480,3928	
26	11.088,0481	
27		739,0291
28	10.042,2856	
29		220,3235

30	43,2788	
31		343,7153
32		105,0305
33		1.246,1873
SETOR 6		
34		1.500,5808
35		2.644,3115
36	76,8003	
37		288,1672
38	1.097,4668	
39	193.4333	
40		3.206,6504
41		2.325,4072
42	685,4236	
43		2.580,3450
TOTAL		
POLÍGONOS	ACRESCÇÃO (m²)	EROSÃO (m²)
43	79.818,96	28.412,42