



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

WAINER MARIA DE ARÁUJO

**A EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NAS PRAIAS DE PAULISTA/PE**

CAMPINA GRANDE - PB

2011

WAINER MARIA DE ARAÚJO

**A EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NAS PRAIAS DE PAULISTA/PE**

Monografia apresentada à banca examinadora como requisito para a obtenção do título de Especialista, pelo Programa de Especialização em Geoprocessamento.

Área de Concentração: Geoprocessamento

Orientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

Co-Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Bernadete Negromonte  
Cavalcante Bem

CAMPINA GRANDE – PB

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

A663e Araújo, Wainer Maria de.  
A evolução da linha de costa nas praias de Paulista/Pe  
[manuscrito] / Wainer Maria de Araújo - 2011.

65 f. : il. color.

Monografia (Especialização em Geoprocessamento) –  
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia,  
2011.

“Orientação: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso,  
Departamento de Engenharia de Minas”.

1. Cartografia. 2. Sistema de informação geográfica. 3.  
Otofotocartas. 4. Linha costeira. I. Título.

21. ed. CDD 551.457

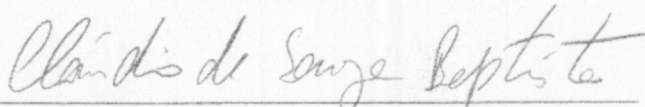
WAINER MARIA DE ARAÚJO

**EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NAS PRAIAS DE PAULISTA/PE**

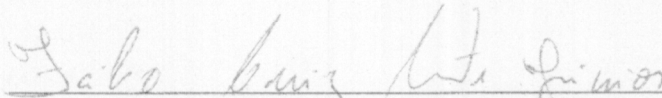
Monografia apresentada à Banca Examinadora como  
requisito para a obtenção do título de Especialista,  
pelo Programa de Especialização em  
Geoprocessamento  
Área de Concentração: Geoprocessamento

Aprovado em 11 de novembro de 2011.

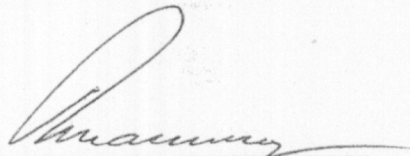
Banca Examinadora



Prof. Cláudio de Souza Baptista (Ph.D.)  
(Examinador externo)



Prof. MSc. Fábio Luiz Leite Junior - UEPB  
(Examinador interno)



Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso  
(Orientador)

CAMPINA GRANDE-PB

2011

Dedico aos meus filhos e, em especial a minha amiga Bernadete Negromonte, exemplo de respeito e dedicação pela educação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela força espiritual e pela minha saúde para a realização deste trabalho.

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), em especial a Vinícius J. Queiroga Duarte e Valéria Gonçalves Carazzai, pelo convite para realizar este Curso.

À Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM), que me permitiram cursar esta especialização.

Ao meu orientador Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso pela disponibilidade, paciência e orientação.

À minha co-orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Bernadete Negromonte C. Bem pela paciência na orientação, pelo incentivo e sensibilidade que a diferencia como educadora.

Aos amigos e colegas de curso, em especial a Carolina Angra, Fabiany Joanny e Ana Mônica pelo incentivo, apoio e amizade.

Não poderia deixar de agradecer ao Prof. Ph.D. e Coordenador do Curso, Cláudio Baptista e aos demais professores que contribuíram para o meu aprendizado.

Aos meus amigos e colegas de trabalho e a todos que contribuíram para o resultado desta pesquisa.

## RESUMO

Este estudo foi desenvolvido na cidade de Paulista/PE, na área situada entre o Pontal de Maria Farinha até a foz do rio Paratibe, cujo objetivo foi avaliar a evolução da linha de costa, utilizando as ferramentas de geotecnologia. Essa faixa costeira está inserida na Bacia Paraíba e apresenta Terraços Marinheiros Pleistocênicos, Terraços Marinheiros Holocênicos, Depósitos Flúvio Marinheiros, Depósitos de Praia e Recifes de Arenito. Visando avaliar a evolução da linha de costa e a vulnerabilidade dessa região, foram produzidos mapas. Para a sua produção foram realizados caminhamentos para levantamento dos aspectos ambientais na orla, além da utilização das ortofotocartas 1:2.000/74, ortofotocartas 1:10.000/88, carta Topográfica Planimétrica Cadastral 1:1.000/97 e imagem de satélite/2005. Para cada conjunto temporal foi montado um mosaico que subsidiou a vetorização da linha de costa. Nessa orla, foram identificados setores praias, cujo estudo evolutivo da linha de costa possibilitou a identificação de trechos que apresentaram tendência a progradação, a estabilidade e a erosão. Essa orla tem sido alvo de grande crescimento demográfico ao longo dos últimos anos, gerando, principalmente, na pós-praia uma ocupação urbana desordenada. A avaliação dessa faixa costeira possibilita o desenvolvimento de estratégias para o ordenamento territorial.

**Palavras-chave:** linha de costa; ocupação urbana; cartografia; Paulista.

## ABSTRACT

This study was conducted in the city of Paulista / PE, the area between the Point of Maria Farinha to the mouth of the river Paratibe, whose objective was to evaluate the evolution of the coastline, using the tools of geotechnology. This coastal strip is inserted into the Paraíba Basin and presents Pleistocene marine terraces, Holocene Marine Terraces, Sea fluvial deposits, beach deposits and sandstone reefs. In order to evaluate the evolution of the coastline and the vulnerability of the region, maps were produced. For its production pathway were carried out to survey the environmental aspects on the edge, beyond the use of ortofotocartas 1:2,000 / 74 ortofotocartas 1:10,000 / 88 Cadastral planimetric topographic maps 1:1,000 / 97 and satellite/2005 image. For each set a time was mounted mosaic which subsidized the vectorization of the coastline. At the edge, were identified sectors Prai, whose evolutionary study of the coastline led to the identification of parts that tended to progradation, stability and erosion. This edge has been the subject of considerable population growth over the past year, generating mainly in the backshore disordered urban occupation. The evaluation of this coastal strip enables the development of strategies for land use.

Keywords: coastline, urban occupation; cartography; Paulista.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Mapa de localização da área de estudo.	14
<b>Figura 2</b> – Morfodinâmica praial (Fonte: Muehe,2001).	22
<b>Figura 3</b> – Mapa da evolução da linha de costa do setor 1.	37
<b>Figura 4</b> – Guia corrente (A) na foz do rio Paratibe e quebra-mares (B), na praia do Janga.	38
<b>Figura 5</b> – Quebra-mar (A) e formação de tómbolo (B) na praia do Janga.	39
<b>Figura 6</b> – Acresção na praia da Enseadinha.	40
<b>Figura 7</b> – Mapa da evolução da linha de costa do setor 2.	41
<b>Figura 8</b> – Linha de costa artificializada por enrocamento aderente, ao sul da praia do Janga.	42
<b>Figura 9</b> – Processo erosivo na praia de Pau Amarelo, com destruição da via de acesso.	42
<b>Figura 10</b> – Mapa da evolução da linha de costa do setor 3.	43
<b>Figura 11</b> – Linha de costa artificializada na extremidade sul do setor 3.	44
<b>Figura 12</b> – Avanço do mar na praia de Nossa Senhora do Ó, no extremo norte do setor 3.	44
<b>Figura 13</b> – Mapa da evolução da linha de costa do setor 4.	45
<b>Figura 14</b> – Linha de costa ao sul da praia da Conceição em área com reduzida interferência antrópica.	46
<b>Figura 15</b> – Construções de bares no estirâncio da praia da Conceição.	46
<b>Figura 16</b> – Residência no estirâncio da praia da Conceição.	47
<b>Figura 17</b> – Mapa da evolução da linha de costa do setor 5.	48
<b>Figura 18</b> – Acúmulo de sedimentos no Pontal de Maria Farinha, na margem direita do estuário do rio Timbó.	49
<b>Figura 19</b> – Formação de um banco de areia no Pontal de Maria Farinha, situado na margem direita do estuário do rio Timbó.	49

<b>Figura 20</b> – Artificialização da linha de costa na praia de Maria Farinha, próximo a rua das Carpas.	50
<b>Figura 21</b> – Obras de contenção do avanço do mar no Pontal de Maria Farinha.	50
<b>Figura 22</b> - A ocupação da pós-praia por bares e habitações na comunidade da Enseadinha.	51
<b>Figura 23</b> – A destruição de muro de residência situada no estirâncio da praia de Pau Amarelo, no setor 2.	52
<b>Figura 24</b> – Obra de intervenção urbanística na praia do Janga, em 2006.	52
<b>Figura 25</b> – Destruição do muro de proteção do calçadão na praia do Janga, em novembro de 2011.	53
<b>Figura 26</b> – Canal para escoamento pluvial e flúvio-lagunar na praia de Pau Amarelo, em 2006.	53
<b>Figura 27</b> – Destruição da desembocadura do canal para escoamento pluvial e fluvio-lagunar na praia de Pau Amarelo, em novembro de 2011.	54
<b>Figura 28</b> – Muro do calçadão da praia da Enseadinha.	55
<b>Figura 29</b> – Na praia do Janga, a construção de enrocamento perpendicular com rochas para minimizar processos erosivos.	55
<b>Figura 30</b> – Presença de sacos de areia no estirâncio do setor 2 para minimizar processos erosivos na praia de Pau Amarelo.	56
<b>Figura 31</b> - Na praia de Maria Farinha, a presença de rampas em residência para minimizar processos erosivos.	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**APA** – Área de Proteção Ambiental

**CCD** - *Charge Coupled Device*

**CONDEPE/FIDEM** - Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco

**CPRH** – Agência Estadual de Meio Ambiente

**DNPM** – Departamento Nacional de Produção Mineral

**GNSS** – Global Navigation Satellite Systems

**GPS** - *Global Positioning Systems*

**IPVs** – Índices Parciais de Vulnerabilidade

**IVG** – Índice de Vulnerabilidade Global

**LGGM** - Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

**MAI** – Projeto Monitoramento Integrado

**MDT** – Modelo Digital de Terreno

**MS** – Multiespectral

**PAN** - Pancrômática

**RMR** – Região Metropolitana do Recife

**SBG** - Sociedade Brasileira de Geologia

**SGBD** – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

**SIG** – Sistema de Informações Geográficas

**SQL** - *Structured Query Language*

**SUDENE** - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

**UFPE** – Universidade Federal de Pernambuco

**UNIBASE** – Projeto de Unificação das Bases Cadastrais

**UTM** – Universo Transverso de Mercator

## SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	12
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivos	15
1.3 Estrutura da Monografia	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	16
2.1 A Cartografia	16
2.2 O Geoprocessamento	18
2.3 A Geologia Ambiental e a sua inter-relação com a Cartografia e o Geoprocessamento	20
2.4 O Ambiente Praial	22
<b>3 ESTUDOS CORRELATOS</b>	25
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	29
<b>5 O CONTEXTO GEOLÓGICO DA REGIÃO COSTEIRA DE PAULISTA</b>	32
<b>6 ANÁLISE DOS DADOS</b>	34
6.1 A Evolução da Linha de Costa de Paulista	34
6.2 A Vulnerabilidade da Linha de Costa de Paulista	51
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	58
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	60
<b>APÊNDICE I - Mapa da Variação da Linha de Costa de 1974,1997 e 2005</b> Trecho entre o Rio Paratibe e Pontal de Maria Farinha – Paulista/PE	64
<b>APÊNDICE II - Mapa de Vulnerabilidade da Linha de Costa</b> Trecho entre o Rio Paratibe e Pontal de Maria Farinha – Paulista/PE	65

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

A zona costeira de Pernambuco vem apresentando, desde os últimos decênios do século XX, um elevado crescimento demográfico, com uso intenso por residências e obras de infra-estrutura urbana e turística. Isso resultou em alterações no comportamento dos agentes naturais que atuam no equilíbrio da zona costeira.

Esse aspecto vem despertando a preocupação dos gestores públicos, que, por diversas vezes, para minimizar os efeitos erosivos provocados pela perda de áreas de praias e do patrimônio construído executam obras emergenciais e descontínuas, que não garantem a estabilidade do litoral.

Intervenções visando à estabilidade da linha de costa vêm sendo realizadas na cidade de Paulista, situada na Região Metropolitana do Recife (RMR) e objeto desse estudo. A sua zona costeira está delimitada pelos estuários das bacias hidrográficas do Timbó ao norte e do Paratibe ao sul, apresenta, na direção norte/sul, uma extensão aproximada de 13,6km (Fig. 1). Essa área, em sua totalidade, apresenta suscetibilidade a riscos geológicos.

As ações humanas nos ambientes costeiros vêm alterando a qualidade das suas praias, comprometendo o patrimônio ambiental e o desenvolvimento das atividades de lazer. Isso ocorre, sobretudo, pelo acelerado crescimento populacional e pela falta de uma política de manejo adequada à conservação dos bens naturais.

Nesses ambientes costeiros, desde a década de 1970 que a ocupação urbana vem interferindo nos processos naturais, alterando a dinâmica sedimentar das suas praias. A intervenção antrópica altera a linha de costa, encontram-se áreas com tendência aos processos de deposição; e outros, com predomínio dos processos erosivos.

A degradação ambiental nessas praias, resultante dos processos erosivos ocasiona prejuízos à biota e à sociedade. Nos setores desse litoral que apresentam impactos ambientais intensos decorrentes dos processos erosivos, a tendência nas últimas décadas é a redução de componentes da vida marinha e dos visitantes, o abandono dos estabelecimentos gastronômicos e das residências de veraneio.

A Geologia pode subsidiar estudos nessa orla, com ênfase nas inter-relações espaciais e funcionais dos componentes do meio e da atuação antrópica. Nesse sentido, os conhecimentos dessa ciência podem contribuir com o planejamento ambiental, visando o ordenamento dessa zona costeira, por meio da avaliação dos bens naturais, identificação dos possíveis riscos, caracterização de impactos ambientais e outros.

As interfaces desses conhecimentos com a Cartografia possibilitaram a produção de mapas com enfoque na evolução e na vulnerabilidade da linha de costa. A compreensão desse processo evolutivo na orla do Paulista é necessária, por servir como instrumento de suporte à decisão das instituições públicas que planejam o ordenamento territorial.



Figura 1 – Mapa com a localização da área de estudo.

## 1.2 Objetivos

A monografia teve como objetivo geral produzir mapas com a evolução da linha de costa da cidade de Paulista/PE nos anos de 1974, 1997 e 2005, visando à identificação nos setores praias de áreas com tendência à erosão ou sedimentação.

Os objetivos específicos trabalhados na monografia foram:

- a. Analisar a evolução histórica da geomorfologia costeira, por meio do uso de material cartográfico dos anos de 1974, 1997 e 2005;
- b. Identificar nos setores praias as intervenções antrópicas que modificam a linha de costa;
- c. Produzir mapas dos setores praias para determinação da linha de costa, utilizando-se do suporte do geoprocessamento;
- d. Produzir mapa da vulnerabilidade da linha de costa por meio das ferramentas do geoprocessamento;
- e. Analisar nos mapas da linha de costa dos setores praias áreas com tendência à erosão, estabilidade e progradação;

## 1.3 Estrutura da Monografia

O capítulo inicial desta monografia explana o objeto do estudo, as motivações que permearam a realização da pesquisa e os objetivos que permitiram nortear a sua realização.

O segundo capítulo trata do referencial teórico. Ênfase foi dada às ciências cartográficas e a sua inter-relação com a geologia ambiental. Para proporcionar subsídios que permitiram a produção de mapas com enfoque geológico, foi necessário conhecer abordagens referentes ao ambiente praial, com enfoque na conceituação de praias, estados morfológicos de praias, dinamicidade da linha de costa e impactos ambientais em ambientes costeiros.

Versa o terceiro capítulo sobre os procedimentos metodológicos de trabalhos de gabinete e *in situ* que possibilitaram o levantamento de dados para execução dos mapas que tratam da evolução da linha de costa e o mapa da vulnerabilidade da orla. Aborda o quarto capítulo os subsídios para o entendimento do contexto geológico de Paulista. Enfoque foi dado a inclusão da planície costeira na Bacia Paraíba, além da descrição dos depósitos recentes.



Aspectos da evolução e da vulnerabilidade da linha de costa de Paulista foram tratados no capítulo cinco. Os setores praias são visualizados em mapas e em seguida, consta uma descrição referente a evolução da linha de costa e impactos ambientais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A Cartografia

A Cartografia pode ser considerada como ciência, arte e tecnologia de conceber mapas. Segundo Brandão *et al.* (2001), representa a superfície terrestre de forma precisa, possibilitando a identificação das características geométricas, da natureza e outras particularidades dos objetos e fenômenos observados. Desde seus primórdios que essa ciência apropriou-se das técnicas de comunicação visual, no sentido de disponibilizar a informação cartográfica por meio de um modelo de representação cartográfica.

Bernaski e Watzlawick (2007) consideram que há diferentes possibilidades de representar graficamente determinada área da superfície terrestre, utilizando-se de simbologias, cores, traçados, a fim de que o leitor consiga, com maior precisão, captar as informações presentes neles.

Entre as formas de reprodução gráfica da Terra, os mapas são representações, em uma superfície plana, do todo ou de uma parte da superfície terrestre, de forma parcial e por meio de símbolos. Nessas imagens, a paisagem está representada em todos os seus aspectos: geologia, relevo, solo, água, vegetação e uso da terra. Eles facilitam a orientação no espaço e ampliam os conhecimentos do leitor sobre ele. O mapa é uma das formas mais antigas de comunicação entre os homens (FLORENZANO, 2002).

Na atualidade, a Cartografia possibilita a criação do Sistema de Informação Geográfica (SIG). A integração de dados de diferentes naturezas (físicos, químicos, geológicos, biológicos e socioambientais) em um SIG é uma importante ferramenta para a compreensão, manejo, planejamento de usos e monitoramento da zona costeira. Eles são criados para a captura, armazenamento, revisão, integração, manipulação, análises e visualização de dados espaciais georreferenciados (LOVETT, 2000).

As informações do SIG são monitoradas no tempo, além de proporcionar simulações de eventos e situações complexas da realidade, tendo em vista a tomada de decisões (MARTINELLI, 2003) visando ao planejamento territorial. Bartlett (2000), afirma que muitas destas informações apresentam o componente espacial, de maneira que os Sistemas de Informações Geográficas possuem um grande potencial nessa tarefa, devido a uma série de fatores, como:

- Habilidade de manusear bancos de dados muito maiores e de integrar e sintetizar dados, levando a estratégias de gerenciamento costeiro mais coordenadas e balanceadas para zonas costeiras mais amplas;
- Possibilidade de desenvolvimento de padrões definidos para dados costeiros, promovendo a compatibilidade de dados e técnicas, bem como assegurando consistência ao longo do tempo e espaço;
- Compartilhamento de banco de dados via internet, facilitando a atualização de dados, a disponibilização de um banco de dados comum entre diferentes instituições e departamentos, bem como reduzindo ou eliminando a duplicação de informações e esforços de coleta de dados já existentes.
- A possibilidade de modelar, testar e comparar alternativas de cenários antes da proposição da estratégia de gerenciamento no mundo real.

A informatização da Cartografia e sua integração com outras tecnologias de Geoprocessamento incrementam as possibilidades de análise espacial, com a introdução de visualizações tridimensionais, animações e interatividade. Com o crescente aumento da capacidade de processamento dos computadores e com as novas tecnologias de coleta de dados, bases de dados imensas podem ser manipuladas, e nesse sentido, abrem-se novas perspectivas para o estudo das cidades (PEREIRA, 2000).

A relação interdisciplinar entre Cartografia e Geoprocessamento consiste no estudo do espaço geográfico. Segundo D'Alge (2001), a Cartografia preocupa-se em apresentar um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico, enquanto o geoprocessamento representa a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, fornecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico.

## 2.2 O Geoprocessamento

Em relação ao geoprocessamento, são disseminados, em diversas publicações dessa área do conhecimento, conceitos, definições que apresentam singularidades. Tornou-se consensual definir Geoprocessamento como sendo a ação de manipular informações associadas a uma posição no espaço (informação georeferenciada).

Rocha (2000, p.210) considera geoprocessamento como uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

Enquanto Xavier da Silva e Zaidan (2004, p. 20), definem o geoprocessamento de dados ambientais, como uma “tecnologia, isto é, um conjunto de conceitos, métodos e técnicas erigido em torno de um instrumental tornado disponível pela engenhosidade humana”.

Nessa concepção o geoprocessamento possibilita a análise sistemática das propriedades e relações posicionais dos eventos representados em uma base de dados georreferenciados. Esses dados transformados em informações podem ser usados como ferramenta de apoio à tomada de decisão e ao planejamento territorial.

Xavier da Silva (1992) associa a contribuição das técnicas do geoprocessamento aos estudos ambientais. Menciona que o geoprocessamento de dados ambientais possui um conjunto de técnicas desenvolvidas para a expressão da territorialidade dos fenômenos ambientais, destina-se a tratar os problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, visando contribuir com a explicação do presente e o acompanhamento de sua evolução passada e futura.

A propagação dos *softwares* de Geoprocessamento tem contribuído para a realização de diversos estudos voltados para a gestão do espaço. Os trabalhos oriundos das ferramentas de geoprocessamento fornecem subsídios para o planejamento físico-territorial. Nesse sentido, destaca-se a aplicação dessas técnicas nas análises ambientais, incluindo: áreas suscetíveis a riscos geológicos, expostas aos processos erosivos, deslizamento, escorregamentos e enchentes; demarcação de áreas de ocupação urbana e com atividades econômicas; demarcação de ecossistemas, como bacias hidrográficas, Unidades de

Conservação; uso na criação de projetos de instalação de infra-estrutura, como as rodovias, sistema viário, expansão de sistema de comunicação, construção de barragens.

A aplicação do geoprocessamento nos estudos que envolvem sistemas ambientais é necessária. A sua tecnologia, conforme Lima e Souza (s.d.) viabilizam a “identificação dos elementos e da dinâmica terrestre, na medida em que possibilita a construção de um banco de dados e a distribuição espacial de tais dados em mapas georreferenciados”.

Segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001), o geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando, de maneira crescente, a Cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano regional. Estas técnicas envolvem uma série de áreas de estudo como Informática, Geografia, Geodésia, Cartografia, Engenharia, Administração e Arquitetura.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

As técnicas de Geoprocessamento, conforme Ferrari (1997) podem ser aplicadas dentro de uma organização nos seguintes níveis: o Operacional, atua na manutenção e na geração de mapas, no suporte ao gerenciamento de redes de infraestrutura, na otimização de rotas, etc. Trazendo como benefícios, o ganho na produtividade, redução de custos e de riscos e qualidade na execução de tarefas; o Gerencial apresenta maior capacidade de manipulação de dados espaciais, facilitando a tomada de decisões de caráter tático, como planejamento, gerenciamento e alocação de recursos; o Estratégico apresenta dados espaciais trabalhados com qualidade, permitindo novas fontes de receitas, como vendas de dados, mapeamento e gerenciamento de arrecadação.

A tecnologia não pode ser considerada um fator limitante para a aplicação do Geoprocessamento na tomada de decisões voltadas para o planejamento ambiental. Na atualidade, há consenso que essas limitações, no Brasil, ocorrem pela escassez de dados e da qualificação da mão-de-obra e ainda, pelas dificuldades em se determinar processos metodológicos que possibilitem o uso do sistema.

### **2.3 A Geologia Ambiental e a sua inter-relação com a Cartografia e o Geoprocessamento**

A Terra é um corpo dinâmico que resguarda uma complexa história, sendo submetida às alterações decorrentes dos processos físicos, químicos e biológicos. A Geologia estuda as mudanças que aconteceram no passado ou nos dias atuais, buscando a compreensão dos processos e reconstituindo a sua história.

Na concepção de Bitar (2004), a Geologia compreende o conhecimento dos processos e fenômenos atuantes, tanto sobre a superfície externa do planeta quanto no interior da crosta terrestre, contexto geral no qual se desenvolve a civilização humana o que inclui as modificações impostas pela comunidade humana nesses processos e evidencia a relação entre meio ambiente e a Geologia.

Referências pioneiras relativas à geologia ambiental ocorreram na década de 80 no século XX. A geologia ambiental, segundo a Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), é o campo do conhecimento que estuda as transformações no meio físico decorrentes da interação entre os processos naturais e os de ocupação humana, incluindo as noções fundamentais sobre o meio físico e o equilíbrio geológico.

Ao se referir ao seu campo de atuação, Bem (2011) menciona a importância da aplicação das informações geológicas, para uso racional do espaço físico, contribuindo com a redução e prevenção de riscos ambientais. Representa a área do conhecimento de essencial importância na sociedade que, pela sua atuação na gestão de ecossistemas contribui com a proteção dos bens geológicos e com a biodiversidade.

A SBG afirma que a geologia ambiental atua na conservação e na reciclagem dos recursos naturais, na valorização econômica das jazidas minerais, considerando-se os custos ambientais e sociais como os relacionados aos efeitos da mineração. Outros estudos tratam da abordagem sistêmica, por meio da interação do conhecimento geológico, difundindo os seus campos de atuação: processos e riscos geológicos; uso de recursos naturais; impactos ambientais decorrentes das atividades humanas.

Como afirmam Terezo, Madeira e Marques (2006, p. 34) a Cartografia com enfoque geológico, intervém “na prática social, orientando-a para a resolução dos problemas, resultantes da ocupação humana do território”. A Geologia contribui para a evolução da sociedade e se torna um elemento, de excelência, na construção da modernidade.

A pesquisa geológica, quando realizada com o apoio da Cartografia e do Geoprocessamento, possibilita novas percepções para a realidade dos sistemas ambientais. A Cartografia proporciona a visualização das diversas inter-relações do meio físico, incluindo os recursos da geodiversidade, e as diversas ameaças que comprometem o espaço geográfico. Diversos estudos que abordam essa questão mencionam os processos e riscos geológicos, associando-os às catástrofes naturais e aos crescentes problemas decorrentes da urbanização e da expansão das atividades econômicas.

Um dos principais instrumentos que permitem a visualização dessas questões de acordo com Bitar (2004, p. 45) é a “cartografia geotécnica, cujo produto final, a carta geotécnica, sintetiza e expressa o resultado dos trabalhos de mapeamento e levantamento geológico aplicados ao planejamento e gestão territorial”. Nas últimas décadas, surgiu a carta geoambiental, apresentando aspectos das inter-relações do meio físico com os demais aspectos do meio ambiente, incluindo as ameaças de natureza puramente geológica.

O resultado da produção cartográfica apresenta-se em suas variadas formas: cartas de suscetibilidade a processos costeiros, carta de risco, cartas de atributos ou parâmetros do meio físico entre outras. Além da Geologia, a produção dessas cartas necessita dos conhecimentos de outras áreas, como Geomorfologia, Pedologia, Oceanografia, Hidrologia, Engenharia Ambiental e outras.

Um mapa geológico consiste na representação bidimensional de um determinado espaço geográfico, e deve apresentar informações referentes à estratigrafia, litologia, estruturas e processos geológicos.

Na concepção dos mapas, o uso das ferramentas do Geoprocessamento oferece subsídios para a representação gráfica dos aspectos da natureza geológica dos lugares. Nesse sentido, gera produtos que permitem a análise da dinâmica da natureza no espaço e no tempo, seja de ordem natural ou antrópica, incluindo: as áreas sujeitas a catástrofes naturais, os impactos ambientais induzidos pela sociedade, as ameaças a geodiversidade, as potencialidades mineralógica, as ocupações urbanas, as instalações de empreendimentos e outros.

Os conhecimentos geológicos contribuem com o ordenamento do espaço nas regiões costeiras, proporcionando segurança e qualidade de vida à sociedade. Portanto, o emprego dos conhecimentos da ciência cartográfica e das técnicas de geoprocessamento na

produção de mapas geológicos pode representar instrumentos de suporte para o planejamento e gestão territorial, contribuindo na solução ou minimização de problemas decorrentes da ocupação territorial.

#### 2.4 O Ambiente Praial

As definições de praias contemplam a sua hidrodinâmica. Horikawa (1988 apud HOEFEL, 1998) define-a como sendo aquela região de sedimentos inconsolidados, situada sobre a região costeira, portanto, facilmente deformável pela ação das ondas, que se estende em direção à terra, a partir da profundidade de mobilização efetiva de sedimentos pelas ondas, até o limite máximo de ação das ondas de tempestade sobre a praia, ou então até as dunas frontais, caso existam.

Outros autores consideram a praia, como ambientes sedimentares costeiros dominados pela ação das ondas, composta de material granular inconsolidado ou cascalho e por biodetritos. A área de domínio das praias estende-se desde a baixa-mar média até os limites internos na zona de máxima incidência de ondas de tempestade (berma) onde ocorre a cobertura vegetal permanente; ou em locais que apresentam mudanças fisiográficas, como dunas e falésias (Fig. 2).

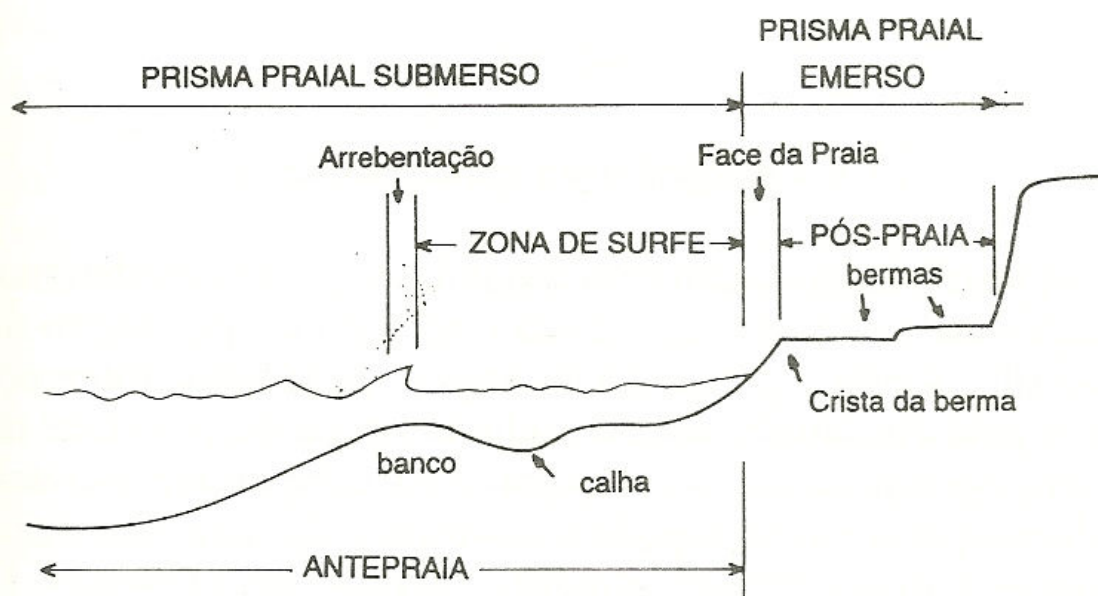


Figura 2 – Morfodinâmica praial (Fonte: MUEHE, 2003)

As praias, geralmente, apresentam um perfil transversal com uma feição mais ou menos côncava. Manso *et al.* (2003) mencionam que sua inclinação, basicamente, varia em função da granulometria dos sedimentos que as constituem, assim como das características do clima de onda incidente. A costa pernambucana apresenta-se baixa, chegando a atingir, em vários pontos, cotas inferiores ao nível da preamar.

Sob tal enfoque, estudos quanto ao aspecto morfodinâmico realizados em praias do sudeste da Austrália permitiram a identificação de "estados" morfológicos associados a regimes hidrodinâmicos. Os estágios morfológicos distintos estão associados aos regimes de ondas e marés, têm-se o dissipativo, refletivo e quatro estágios intermediários. Calliari *et al.* (2003) descreve esses "estados" morfológicos.

No estado dissipativo a zona de surfe é larga, apresenta baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. Condições dissipativas são favorecidas pela ocorrência de ondas altas e de elevada esbeltez (tempestade) ou pela presença de areias de granulometria fina. Nessas condições, em geral, a zona de surfe é "saturada", ou melhor, as ondas arrebentam longe da face da praia, decaindo progressivamente em altura à medida que dissipam sua energia por meio da arrebentação. A energia é transformada em "set-up" ou subida do nível médio do mar e fluxos de corrente de retorno, os quais podem ocorrer devido a variações espaciais na altura da arrebentação.

Enquanto o estado refletivo é caracterizado por elevados gradientes de praia e fundo marinho adjacente, o que reduz a largura da zona de surfe. Prevalecem praias compartimentadas em zonas protegidas entre promontórios, na presença de areias grossas ou após longos períodos de acresção. A reserva de areia se encontra, principalmente, na porção subaérea da praia, com pouca areia depositada na porção submarina. Esse fato faz com que mesmo em condições de energia reduzida induzam erosão subaérea. Nesse estágio, a arrebentação predominante é ascendente e mergulhante. Em condições refletivas, a energia pode ser aprisionada por refração, mantendo uma onda de borda subarmônica responsável pela formação de cúspides praias na zona do estirâncio.

Os estágios intermediários apresentam propriedades dissipativas e refletivas. Esses estágios são caracterizados, geralmente, por uma progressiva redução da largura da calha longitudinal (*longshore trough*) em decorrência da migração do banco submarino da zona de arrebentação em direção à praia. Isso é uma resposta às variações nas características hidrodinâmicas.



A incidência de ondas sobre as praias levam à formação de feições topográficas, cujos perfis dependem da geomorfologia costeira e da interação entre “o clima de ondas” e a granulometria dos sedimentos. Muehe (2001) afirma que a intensidade e ciclicidade do “clima de ondas” atuam na esculturação do relevo emerso. A energia das ondas e a intensidade e recorrência das tempestades comandam a dinâmica dos processos de erosão e acumulação na interface continente – oceano e fundo marinho.

Dessa forma, um dos agentes habituais da erosão ou progradação costeira são as mudanças no volume de sedimentos transportados, paralelamente, à linha de costa. Para Muehe (2001), esse transporte efetuado pela corrente longitudinal é gerado entre a zona de arrebatamento e a linha de praia em decorrência da obliquidade de incidência das ondas.

Verifica-se essa dinamicidade na linha de costa que corresponde aos lugares que não estão em contato com as águas oceânicas, inclusive durante as marés de sizígia. Essa linha foi considerada por Mendonça e Mendonça (2010, p. 2) como a “feição no plano horizontal limite entre a área seca do continente, com a parte onde há efetiva ação das águas”.

Segundo Silva *et al.* (2004) o avanço da linha de costa pode ser provocado por emersão ou aporte de sedimentos (progradação); como também, pelo recuo da linha de costa, devido à subsidência ou erosão em função da prevalência da ação hidrodinâmica das ondas e correntes costeiras sobre o aporte sedimentar.

A linha de costa pode ser alterada pela ocupação da pós-praia, com a expansão de áreas urbanas. Essa ocupação pode contribuir com a erosão das praias, comprometendo a qualidade ambiental, levando à perda de superfícies destinadas a atividades de lazer.

Em relação aos impactos ambientais nas áreas costeiras, as intensidades desses processos estão submetidas às mudanças naturais e induzidas pelo homem. Costa e Rocha (2006, p.13), consideram as áreas que apresentam “condições geológicas adversas podem, em conjunção com outros fatores, inclusive antrópicos, constituir ameaça para a segurança ou para a qualidade de vida das populações”. Entende-se por condições geológicas adversas nas áreas costeiras, especificamente, a susceptibilidade de ocorrência de processos geológicos ativos incluindo a erosão.

Nas regiões costeiras, a ausência de planejamento contribui com impactos ambientais geológicos. Esses impactos promovem modificações na dinâmica costeira, como a ocupação das zonas praias, decorrentes da expansão de loteamentos, construção de

equipamentos de hospedagens, instalação de infra-estrutura urbana e de lazer, instalação de áreas portuárias, construção de molhes, dragagem de sedimentos para engordamento de costa e assoreamento de baías e estuários.

As construções em ambiente praial impedem o transporte de sedimentos devido à interrupção do fluxo das correntes de deriva litorânea. Esse aspecto é verificado nas cidades costeiras situadas ao norte da Região Metropolitana do Recife, incluindo Olinda e Paulista. Os conhecimentos da Geologia e da Cartografia podem contribuir com o ordenamento territorial das praias urbanas. Nos espaços costeiros, o provável crescimento das atividades socioeconômicas requer cada vez mais informações dessas ciências que podem contribuir com a proteção do patrimônio natural.

### **3 ESTUDOS CORRELATOS**

A Zona Costeira brasileira possui as mais altas densidades populacionais, necessitando o planejamento do uso do solo, por meio dos instrumentos, políticas e produtos associados ao Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e utilizados pelos Planos Estaduais e Municipais. Nesses planos, identificam-se possíveis ações para minimizar o processo de erosão severo que acomete diversas praias.

Ainda que essa temática seja tratada nas instituições de pesquisa do país, as políticas de planejamento e ordenamento territorial, conforme Souza (2009) pouco tem incorporado os conhecimentos adquiridos, resultando, muitas vezes, no desperdício de recursos financeiros públicos com a implantação de obras de engenharia costeira que acabam acelerando ainda mais a erosão.

Surge como proposição no equacionamento do problema costeiro o uso da Cartografia. Silva (1999) realizou estudo da evolução costeira do delta do rio Piranhas/Açu em Macau no Estado do Rio Grande do Norte. Utilizou fotografias aéreas do século XX, das décadas de 1950 a 1980, além da imagem de satélite SPOT/96. Isso possibilitou uma melhor compreensão dos fatores que atuam diretamente no litoral, por meio de análise cartográfica e geológica dos estuários e rios que formam o delta do rio Piranhas em Macau/RN.

Magalhães (2000) realizou um estudo com base em fotografias aéreas multitemporais nos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, situados a oeste de Fortaleza. Identificou por meio de monitoramento mensal os processos costeiros responsáveis pela erosão, apresentando áreas com tendências erosivas e taxas variando entre  $-48\text{m}^3/\text{m.a}$  a  $-16,8\text{m}^3/\text{m.a}$ , pontos de acúmulo de sedimentos com valores na ordem de  $+37\text{m}^3/\text{m.a}$  a  $+26,4\text{m}^3/\text{m.a}$ , bem como locais onde a zona costeira está em equilíbrio.

Pereira *et al.* (2007) estudaram os agentes atuantes na dinâmica costeira, da área situada a oeste da cidade de Areia Branca (RN). Analisaram de forma temporal toda a linha de costa da área em questão, utilizando produtos de sensoriamento remoto, as imagens do CBERS 2-Sensor CCD e Landsat 7 ETM +, comparando a dinâmica costeira no intervalo entre os anos 1999 e 2005.

De acordo com Farias e Maia (2010), nas últimas décadas, pode ser evidenciado no litoral do Ceará, um retrocesso generalizado da linha de costa, provocando prejuízos econômicos relevantes para a região, por conta da destruição de casas e estruturas em consequência desse fenômeno. Mediante esse fato, a adoção de estudos que visem determinar as taxas de recuo da linha de costa constituiu uma ferramenta essencial para a correta tomada de decisões acerca do uso e gestão adequada da zona costeira. Partindo dessa premissa, calcularam as taxas de recuo de linha de costa, associando os resultados obtidos com os processos dinâmicos pontuais, em uma análise multitemporal, utilizando imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas associadas a técnicas de geoprocessamento.

A linha de costa de Ipojuca, em Pernambuco, foi estudada por Manso *et al.* (2003). Apresentou em coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) os pontos de contorno da linha de preamar máxima de todo litoral do município, que foi representada em escala gráfica de 1:25.000, sendo utilizados os métodos do *Global Positioning Systems* (GPS) absoluto e diferencial para tal fim.

Mendonça (2005) realizou medições que foram processadas, visando gerar um banco de dados bidimensional da posição da linha da costa do trecho entre a foz do rio Timbó e a entrada sul do canal de Santa Cruz e da Ilha Coroa do Avião. Empregando posicionamento espacial de alta resolução para a determinação e o monitoramento da posição da linha de costa, utilizaram simultaneamente, pares de receptores GPS tipo geodésico, permanecendo um fixo em um local conhecido, enquanto a antena do outro era deslocada sobre as feições que

delimitam a linha de costa. Verificou-se que, nos primeiros 19 anos (1969-1988), o aterro de uma área de 66,50ha no continente e o recuo da linha de costa na frente do Forte Orange, e, posteriormente (1988-04), o avanço da erosão e desgaste das paredes da fortificação paralelamente ao aparecimento de um pontal arenoso a norte do Forte e ao recuo da linha de costa na parte continental.

Mendonça e Mendonça (2010) mencionam entre as novas tecnologias para se medir a linha de costa o uso do laser aerotransportado, essa técnica de medição determina a superfície do terreno; a utilização de imagens de satélites de alta resolução. Para os autores, o método que utilizaram no levantamento da linha de costa das praias do Recife (PE) atende os pré-requisitos de precisão e confiabilidade, usaram a tecnologia de levantamento com receptores *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), com equipamentos geodésicos no modo relativo cinemático. A posição dessa linha de costa permite monitorar as alterações da sua posição no futuro, como também identificar as posições anteriores, em comparação com a documentação cartográfica pré-existentes.

Em relação aos estudos da vulnerabilidade da zona costeira, usando a Cartografia, Silva e Santo (2003) abordaram a degradação ambiental provocada pelo crescimento urbano na planície do Campeche, em Florianópolis (SC). Como resultados dos estudos verificaram a ocorrência de forte impacto sobre o meio ambiente em áreas com valor histórico e cultural, revelando um conflito de uso que compromete o patrimônio ambiental. Utilizou nesse estudo um Sistema de Informação Geográfica, como ferramenta de integração de dados ambientais, que permitiu emitir grande parte das informações obtidas dentro do sistema de coordenadas geográficas.

No município de João Pessoa/PB, entre o estuário do rio Gramame ao Sul até a desembocadura do rio Jaguaribe ao Norte, foi realizado um estudo por Reis, Neumann e Lima (2008) com o objetivo de apresentar uma classificação da área de estudo quanto à vulnerabilidade a erosão costeira. Nesse estudo, quantificaram as variações da linha de costa com base em documentos cartográficos e fotográficos de diversas datas. A integração dos dados obtidos permitiu o mapeamento do nível de vulnerabilidade à erosão, identificando trechos de linha de costa mais suscetíveis de serem alterados.

Araújo (2007) realizou, através de caminhamento, a identificação e demarcação georreferenciada dos trechos do litoral de Pernambuco com relação à presença de ocupação urbana, observando-se a presença, ou não, de edificações no ambiente praias. Os trechos de

praias de cada setor (Norte, Metropolitano e Sul) foram classificados em três graus de ocupação ou intervenção, de acordo com os seguintes critérios: ausência de ocupação da pós-praia; ocupação da pós-praia; e ocupação concomitante da pós-praia e da praia (estirâncio). Esses graus são acumulativos visto que, quando há ocupação na praia, infere-se que a pós-praia também já se encontra ocupada.

As informações obtidas pela autora nos setores da Região Metropolitana do Recife, foram plotadas em cartas da SUDENE (1:25.000) e, posteriormente, foi calculado o percentual da extensão total do litoral com ocupação na praia e na pós-praia e em cada setor (Norte, Metropolitano e Sul). Foram registradas: ausência de ocupações no ambiente praial em 134,9 km (72,1% da costa), ocupação da pós-praia em 13,4 km (7,1% da costa) e ocupação concomitante da pós-praia e da praia (estirâncio) em 38,6km (20,6% da costa). Nesses trechos, o ambiente praial se encontra comprometido, principalmente, pela presença de edificações ou estruturas rígidas que visam conter a erosão marinha. Geralmente, essas estruturas são do tipo espigões, enrocamentos aderentes e quebra-mares.

Mallmann (2008) apresentou uma proposta metodológica para estimar a vulnerabilidade de segmentos costeiros à erosão, através de uma abordagem semi-quantitativa, aplicada para 14 praias do litoral sul de pernambucano. Nesse estudo, adotou-se o Índice de Vulnerabilidade Global (IVG), calculado a partir de Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) relacionados: à morfologia costeira, à presença de atributos naturais, à influência marinha, aos processos costeiros e a fatores antrópicos.

A evolução da linha de costa de Paulista foi apresentada no estudo desenvolvido pelo LGGM (2000). Utilizaram fotografias aéreas do litoral obtidas em 1974 e 1998, e suas respectivas ortofotocartas; juntamente com fotografias obtidas em 1998. Esse material possibilitou identificar os principais setores onde houve o avanço e recuo da linha de costa, e foram apresentados em um mapa planimétrico. Concluíram que esse litoral apresenta um balanço progradação/estabilidade positivos, uma vez que correm em 68% na área pesquisada e apenas 32% é constatada a presença do processo erosivo no período.

A interferência antrópica no litoral de Paulista é o principal fator responsável pelo desequilíbrio da dinâmica sedimentar e, conseqüentemente, do incremento da erosão costeira. Nesse litoral, entre as praias da Enseadinha e Maria Farinha, Lira (1997) caracterizou a morfologia e vulnerabilidade a erosão costeira. Esses problemas foram gerados,

principalmente, pelo mecanismo de transferência da erosão, à medida que as praias situadas a sul executavam suas medidas de proteção, bem como pela ocupação urbana desordenada.

A vulnerabilidade da linha de costa de Paulista foi avaliada em nível de macro-escala por LGGM (2000). As variáveis indutoras e controladoras dos processos erosivos instalados na linha de costa foram representadas no mapa de vulnerabilidade, na escala 1:10.000. As bandas representadas graficamente nesse mapa tratam: morfologia da linha de praia obtida por meio do mapeamento geológico; processos costeiros para determinar a variação da linha de costa; deriva do sedimento; estruturas de proteção; estruturas naturais (recifes); feições naturais; grau de desenvolvimento urbano; e o grau de vulnerabilidade (risco potencial) obtido pela combinação dos diversos fatores.

Constam informações no LGGM (2000) do monitoramento ambiental das praias de Paulista, no período de 1998 a 2004, para minimizar os seus impactos ambientais. Nos relatórios, encontram-se informações referentes aos condicionantes geológicos, geomorfológicos e oceanográficos; e ainda, a vulnerabilidade costeira, com estratégias para minimizar os processos erosivos.

Visando ao ordenamento da zona costeira foi desenvolvido, no período de 2006 a 2008, o Projeto Monitoramento Integrado (MAI), que realizou pesquisas em Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda e Paulista. O objetivo do MAI consistiu em avaliar as estruturas rígidas utilizadas para contenção da erosão, além das características da zona costeira. Entre os estudos desenvolvidos, realizaram levantamento de perfil de praia, geofísica, sedimentologia, oceanografia física e de vulnerabilidade da linha de costa.

Esses estudos proporcionam subsídios para análise de risco geológico entre as cidades centrais da Região Metropolitana do Recife. Entretanto, as medidas de intervenção na zona costeira aplicadas pelos gestores públicos devem seguir uma homogeneização de critérios.

#### **4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Na zona costeira de Paulista, foram identificados nos setores praias por meio de caminhamentos, áreas com tendência à erosão ou sedimentação, e impactos ambientais

antrópicos gerados pela expansão urbana e por intervenções antrópicas para minimizar os efeitos erosivos do mar e que comprometem a qualidade das suas praias. Os registros desses impactos foram realizados com a utilização de uma máquina fotográfica digital SONY W\_70 7.0mp.

O levantamento desses dados subsidiou a produção do mapa de vulnerabilidade da linha de costa. No mapa, constam variáveis dos processos costeiros, representadas por faixas que estabeleceram as condições ambientais e possibilitaram determinar a vulnerabilidade. As faixas representadas foram: processos costeiros, estruturas de proteção, estruturas naturais (recifes) e grau de desenvolvimento urbano.

Análises cartográficas foram realizadas, utilizando-se dos materiais: ortofotocarta, na escala 1:2.000/1974; ortofotocarta, na escala 1:10.000/1988; carta Topográfica Planimétrica Cadastral (UNIBASE), na escala 1:1.000/1997; mapeamento dos recursos hídricos de superfície da Região Metropolitana do Recife (RMR), na escala 1:10.000/1975; imagens de satélite de alta resolução QuickBird com resolução radiométrica de 8bits, coletadas em 2005, além do Mapa Geológico de Pernambuco produzido pelo DNPM, na escala de 1:10.000. Estes materiais foram obtidos na Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (Agência CONDEPE/FIDEM).

As ortofotocartas foram geradas pelo método fotogramétrico. A precisão dessas medidas proporcionou a confecção de mapas a partir de fotografias métricas na escala 1:6.000, cujo DATUM, usado no Brasil na época da sua obtenção foi o Córrego Alegre. Os dados que geraram as ortofotocartas foram obtidos por meio de uma câmera fotográfica especial do tipo fotogramétrica, acoplada em uma aeronave, adaptada para esse fim, que voa em linhas paralelas sobre a área a ser fotografada, com controles especiais de altitudes constantes, nivelamento e direção de vôo.

O satélite QuickBird foi projetado e construído por meio da cooperação entre as empresas norte-americanas DigitalGlobe, Ball Aerospace Technologies, Kodak e Fokker Space. O QuickBird possui sensores do tipo CCD (*Charge Coupled Device*), que realizam varredura eletrônica em fileira linear (*pushbroom linear array*) flexíveis para visadas off-nadir até 30°, ao longo do terreno e a aquisição de pares estereoscópicos. O sistema sensor do satélite captura imagens no modo pancromático (PAN) e multiespectral (MS) (BLASCHKE e KUX, 2005).

A DigitalGlobe disponibiliza imagens nas formas PAN, MS e uma imagem denominada *Pan-sharpened* que possui 0,70m de resolução, uma composição colorida natural ou falsa-cor. As imagens PAN e MS são adquiridas com 11 bits, mas podem ser fornecidas em 8 bits ou 16 bits.

Os dados para a confecção dos mapas de linha de costa e da vulnerabilidade da orla foram gerados pelo processo de edição de imagens (ortofotocartas, fotografias aéreas e imagens de satélites).

Após a aquisição das imagens aéreas foram tratados com software específicos que vetorizaram as linhas principais a serem estudadas. Para haver o comparativo entre as várias datas de aquisições, foram realizadas as compatibilidades de “DATA” ou, seja, todas as fontes cartográficas ficaram no único “DATUM” (SAD 69).

Foram geradas polilinhas, classificadas por LAYERS, que indicaram as suas posições relativas e permitiram retratar a linha de costa. Com a classificação das linhas vetorizadas, as indicações temporais e seus cruzamentos em uma mesma base cartográfica (mesmo DATUM) pôde-se obter o traçado que gerou o estudo da evolução da linha de costa. Quanto aos traçados das linhas costeiras foram realizados trabalhos de edição cartográfica, ou seja, com os programas AutoCad Map 2005 (Autodesk Map 3D) e Erdas imagine 9.1 (Leica Geossystems).

Os dados obtidos dessa edição (vetorização) são os desenhos gerados no AutoCad Map na extensão DWG. Quanto à precisão cartográfica desses dados foram utilizadas: Ortofotocarta 1:2.000 – precisão  $0,5\text{mm} \times 2.000 = 1\text{m}$ ; Ortofotocarta 1:10.000 – precisão  $0,5\text{mm} \times 10.000 = 5\text{m}$ ; Imagem QuickBird 8 bits – precisão 10m.

Deste modo, cada linha de costa obtida foi apresentada em mapas setoriais na escala 1:10.000 e apresenta o erro inerente ao produto dessas imagens de 10m, que fica na escala 1:10.000 com 1mm de espessura nas representações dos mapas setoriais. Esse processo complementa os trabalhos em campo com os deslocamentos das linhas detectadas nas evoluções temporais.

Os *softwares* para Geoprocessamento apresentam: modularidade; ambiente de edição gráfica (vetorial e raster); conversores de dados gráficos (DXF, DWGM DGN, etc.); conexões com ambientes de CAD; apoio à pesquisa e consulta; cálculo de rede (roteamento), alocação por demanda, segmentação dinâmica, etc; Modelo Digital de Terreno (MDT); apoio à



composição de maps; topologia estruturada em camadas; gerenciamento de mapoteca; conexão com Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), atendendo às formas possíveis (cliente/servidor; processamento distribuído; relacional; *Structured Query Language* (SQL); manuseio de dados descritivos (seleção de subconjuntos de dados, alteração de atributos, etc.).

## 5 O CONTEXTO GEOLÓGICO DA REGIÃO COSTEIRA DE PAULISTA

A planície costeira de Paulista está inserida na Bacia da Paraíba. Essa Bacia limita-se a sul pelo Lineamento Pernambuco e a norte pela Falha de Mamanguape, sendo esta uma ramificação do Lineamento Patos. Essa bacia está limitada a sul pelo Lineamento Pernambuco, e a norte pela Falha de Mamanguape, sendo esta uma ramificação do Lineamento Patos.

A Bacia Paraíba, segundo Barbosa e Lima Filho (2005), apresenta-se como uma extensão da margem Atlântica do Brasil que sofreu uma evolução tardia, a partir de um processo de estiramento crustal, não evoluindo para uma bacia *rift* típica. O preenchimento sedimentar nesta área teve início, provavelmente, no Cretáceo superior, diferindo das demais bacias marginais.

Os depósitos recentes dessa planície costeira são constituídos por Terraços Marinheiros Pleistocênicos, Terraços Marinheiros Holocênicos, Depósitos Flúvio Marinho, Depósitos de Praia e os Recifes de Arenito.

Os Terraços Pleistocênicos estendem-se da foz do Rio Paratibe até a Ponta do Sol em Maria Farinha, com altitudes entre 5 a 8 m. Surgiram durante a regressão que se sucedeu após o máximo da Penúltima Transgressão Marinha. Apresentam-se de forma descontínua, mas normalmente são alongados e paralelos à linha de costa, ocorrendo na porção mais interna da planície costeira com larguras que variam de 0,5 a 1 km.

Os Terraços Holocênicos ocorrem preenchendo a porção externa da planície costeira, com altitudes médias de 1 a 3m. Caracterizam-se por apresentar corpos alongados e contínuos, paralelos à linha de costa e com largura variável em média de 0,5 a 1 km. Na praia de Maria Farinha, estende-se por cerca de 2 km de largura. Esses terraços são constituídos

essencialmente por areias quartzosas inconsolidadas. Encontram-se atualmente ocupados pela expansão imobiliária.

Os Depósitos atuais de praia ocorrem na linha de costa e constituem faixas contínuas, alongadas e estreitas, formadas, principalmente, por areias médias a finas, esbranquiçadas e incoerentes, que sofrem o contínuo retrabalhamento do mar. Essas características devem-se aos Recifes de Arenito, que protegem o continente da ação marinha. Apresentam larguras médias de 300 a 500m com declividades baixas, atingindo cotas de, no máximo 2m, podendo ser afogados quando ocorrem as marés mais altas.

Os Recifes de Arenito encontram-se quase paralelos à linha de costa e são orientados por linhas sucessivas de corpos alongados, sendo interrompidos nas proximidades das desembocaduras dos rios e ou/barras. A sua exposição ocorre nas praias de Nossa Senhora do Ó, Conceição e Maria Farinha. Apresenta, em alguns pontos, cotas próximas a superfície, enquanto outros afloram na baixa mar. A linha mais próxima da costa está a 570m da praia do Janga e a mais afastada está a cerca de 1400m da praia da Enseadinha, no extremo sul da orla.

Nos subcompartimentos geomorfológicos formados durante o Cenozóico, encontram-se as Flechas Litorâneas e alinhamentos de Cordões Litorâneos. No macrozoneamento costeiro do litoral de Pernambuco, realizado pelo LGGM (1992) consta que a gênese das Flechas Litorâneas está relacionada ao encontro de águas fluviais em desembocaduras de rios, com as correntes de deriva litorânea, no caso de direção geral N-S, acarretando um obstáculo que poderá bloquear o transporte de sedimentos, proporcionando um “efeito de molhe”.

O “efeito de molhe” ocorre em Paulista entre a desembocadura sul do Canal de Santa Cruz e a praia de Maria Farinha, cuja formação ocorre pela deposição e retenção dos sedimentos que provêm desse canal e da bacia do rio Timbó. Esse fenômeno está associado à formação de uma barra arenosa, designada de Coroa do Avião. Os processos deposicionais também dominam os erosionais, formando uma feição de Flecha Litorânea.

Enquanto as feições dos Cordões Litorâneos apresentam cristas alongadas de alturas de poucos metros, formando a pós-praia. Esses Cordões são compostos por material inconsolidado, constituído por sedimentos arenosos e fragmentos de organismos marinhos. Os cordões estão dispostos em faixas horizontais e formam os terraços de construção marinha.

## 6 ANÁLISE DOS DADOS

### 6.1 A Evolução da Linha de Costa de Paulista

As mudanças na paisagem costeira do litoral norte de Pernambuco surgiram com as obras de ampliação do Porto do Recife. Os primeiros registros dos danos provocados pelo avanço do mar nesse litoral foram registrados na cidade de Olinda no ano de 1925. Esses danos culminaram com alterações na linha de costa, quando ocorreu, na década de 50 do século XX, a extinção de ruas nos bairros dos Milagres, Farol, Carmo e São Francisco.

A erosão que afetou esse litoral está relacionada, possivelmente, ao *déficit* de aporte sedimentar, surgidas, em virtude das intervenções realizadas no Porto do Recife. A aceleração desse processo aconteceu com as dragagens na bacia portuária que levou a mudanças no fluxo litorâneo, retendo sedimentos e dificultando o suprimento em outras regiões.

Para minimizar esses impactos foram construídos quebra-mares em Olinda que contribuíram para aumentar o *déficit* sedimentar e transferir o processo erosivo em direção às praias situadas em Paulista. As obras de intervenção na linha de costa para conter a erosão, ocorrem desde a praia dos Milagres em Olinda até a praia de Maria Farinha, no extremo norte de Paulista.

A erosão marinha ainda está associada, sobretudo à ocupação irregular do ambiente praias, aos aterros realizados nos manguezais, à ineficiência do planejamento e controle urbano e, em escala mundial, às mudanças climáticas que podem provocar a elevação do nível do mar e a intensificação dos ventos.

A orla de Paulista caracteriza-se por apresentar setores vulneráveis aos processos erosivos e, por isso, há uma tendência para existência de riscos geológicos. As interferências naturais atuam na linha de costa, cuja morfologia do litoral apresenta um traçado sinuoso. As variáveis ambientais que atuam nesse modelado são: as correntes marítimas no sentido sul-norte, os ventos alísios de Sudeste, a escassez de rios para transportar grandes volumes de sedimentos, o calcário no substrato da plataforma continental e a convexidade do litoral com saliências expostas à energia das ondas que dificultam a retenção dos sedimentos (LGGM, 2000).

A presença de recifes de arenito na plataforma continental interna de Paulista atua na morfologia costeira por interferir no aporte sedimentar. De acordo com LGGM (2000), a presença de uma série de alinhamentos desses recifes paralelos à costa age como barragem ao transporte de sedimentos, entre a plataforma e o continente, funcionando como obstáculo adicional ao equilíbrio do balanço sedimentar.

A linha mais interna desses recifes ocorre desde a foz da bacia do Paratibe até o Pontal de Maria Farinha. Quando eles são contínuos protege a praia adjacente e permite a progradação, mas quando apresentam aberturas, a linha de praia sofre um recuo e forma enseadas. Os cordões descontínuos dos recifes de arenito formam a barra de Pau Amarelo e a barreta de Maria Farinha, com aberturas de 600 e 900m, respectivamente.

A interrupção dos recifes permite a penetração das ondas modelando o litoral. As ondas atuam, criando um movimento de areia das partes convexas para as partes côncavas, sobressaindo nas ressacas de SE, a movimentação de sul para norte. Esse traçado nas suas praias evidencia graus de erosão diferenciados. Essas condições são responsáveis pela configuração sinuosa da linha de costa, com alternância de concavidades e convexidades.

Outra característica é a presença das correntes de retorno, orientadas na direção do mar que podem carrear sedimentos ao longo da linha de costa para águas profundas, contribuindo com parte da erosão nas suas praias. Segundo LGGM (2000), essa zona de fuga está associada ao pequeno volume de sedimentos disponível para transporte, devido à presença dos recifes de arenito, recobrando a zona abaixo da profundidade limite.

Ao sul da barra de Pau Amarelo encontra-se uma plataforma continental pouco desenvolvida, com inclinação mais acentuada, onde existe um canal ao sopé do flanco do banco do recife externo, tornando esse trecho mais vulnerável à erosão. Contudo, ao norte da barra, há uma plataforma rasa mais desenvolvida e com relevo suave até a profundidade de 10m, assegurando maior proteção à praia.

A atuação antrópica dificulta o equilíbrio dessas variáveis naturais, destacando-se as intervenções na orla sem conhecimento técnico, como as construções de residências, equipamentos de lazer, infraestrutura e estruturas rígidas para conter o processo erosivo. Essas construções, geralmente, ocorrem na pós-praia na fase de progradação do perfil praiial. A instalação das obras de engenharia para minimizar efeitos da erosão, como muros e rampas promovem a redução do estirâncio, diminuindo a área de lazer e promovendo impacto visual.

A produção dos mapas da linha de costa permite identificar setores dessa orla que apresentam a erosão ou acreção de sedimentos, ou ainda, aqueles que permanecem estáveis. Nas áreas de erosão, verifica-se uma atividade de lazer incipiente, desenvolvida em um ambiente artificializado para conter o avanço das águas oceânicas no continente. Contudo, os trechos de acreção de sedimentos são ideais para o desenvolvimento dessas atividades que permitem o uso do espaço costeiro pelos usuários.

Esses aspectos que atuam na configuração da linha de costa resultaram na identificação de cinco setores praias que apresentam graus de vulnerabilidade e erosão diferenciados (Apêndice 1). Esses setores foram identificados pelo Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) em 2000.

## SETOR 1

O Setor 1 possui cerca de 3,5 km e estende-se da foz do rio Paratibe até a rua Ingazeira, sendo formado pelas praias da Enseadinha e do Janga. Na praia da Enseadinha, há uma tendência à sedimentação, enquanto a praia do Janga apresenta um forte índice de erosão que levou à execução de várias obras para conter esse processo (Fig. 3).

Na evolução da linha de costa desse setor praias, verificou-se ao longo de trinta anos, uma ocupação de forma desordenada na pós-praia e áreas adjacentes. Apresenta a linha de praia de 1974, um recuo em toda a sua extensão, cuja característica foi modificada com a ocupação da faixa praias por loteamentos e com a sua infraestrutura urbana associada.

A consolidação da expansão urbana ocorrida nesse setor, entre os anos de 1997 a 2005 levou a uma configuração da linha de costa com características estáveis. Isso ocorreu na praia do Janga, entre a rua Cabrobó e a rua Ingazeira, devido à artificialização da linha de costa com obras de enrocamentos para conter o processo erosivo. No entanto, o trecho situado entre a rua Belém de Maria e rua Cabrobó, devido às construções dos quebra-mares contribui com a modificação no modelado da linha de costa, formando tómbolos.





A erosão tem sua origem associada ao desequilíbrio no balanço sedimentar provocado pela escassez do aporte de sedimentos. Isso ocorre, possivelmente, pelas várias construções de obras rígidas para conter erosão no litoral de Olinda e o guia corrente na foz da bacia do Paratibe, funcionando como barreira ao transporte de sedimentos para essa área.

Constata-se, nesse setor, uma ocupação urbana muito alta, com a presença de obras de engenharia costeira, em cerca de 80% do seu comprimento. Entre essas obras, destaca-se o guia corrente na foz da bacia do Paratibe, trechos com enrocamentos de blocos de rochas aderentes e o engordamento entre as células. Esse engordamento gerou praias arqueadas, mas ao centro do arco ocorre a erosão. Nesse setor, encontravam-se ainda nove espigões perpendiculares e seus quebra-mares associados, formando uma estrutura de T (Fig. 4).



Figura 4 – Guia corrente (A) na foz da bacia do rio Paratibe e quebra-mares (B), na praia do Janga.

O sistema de proteção por meio de obras rígidas funciona como uma barreira para o transporte de sedimentos. As ondas que incidem sobre a zona de sombra do quebra-mar são retidas pelo obstáculo, impedindo o fluxo de energia para transportar sedimentos e provoca um assoreamento na praia ao norte dos quebra-mares. O regime de ondas secundário retrabalha este material de modo que ocorre um avanço da praia em direção ao quebra-mar, formando tómbolos (Fig. 5).



Figura 5 – Quebra-mar (A) e formação de tómbolo (B) na praia do Janga.

Enquanto na zona de sombra se depositam sedimentos na praia a sotamar, as ondas que não foram retidas pelo quebra-mar continuam a incidir, retirando sedimentos, como não há reposição, os sedimentos que deveriam suprir ficam na zona de sombra, originando a erosão e promovendo o recuo da praia. Como consequência, ocorre engordamento na praia adjacente ao quebra-mar e erosão a sotamar do tómbolo. Nesse setor, as praias foram modeladas após o engordamento, criando uma configuração de praias arqueadas.

Na praia da Enseadinha, vem ocorrendo acresção por situar-se na extremidade sul da enseada e acumular sedimentos (Fig. 6). A distância da linha de costa de 1974 em relação à de 2005 na praia da Enseadinha é de cerca 75m.

A pós-praia e áreas adjacentes da Enseadinha ainda preservam alguns aspectos das suas características naturais, o estuário do Paratibe por ser uma Área de Proteção Ambiental (APA) encontra-se ainda ocupado por remanescentes da vegetação de manguezal. Na Enseadinha, encontra-se na pós-praia, construções irregulares, foram instaladas barracas e bares da comunidade local.