



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA  
DE PETRÓLEO  
MEIO AMBIENTE NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO (MAP)**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE MANGUEZAIS ADJACENTES AOS  
CAMPOS PETROLÍFEROS DE MACAU E SERRA (RN), COMO  
SUBSÍDIO ÀS MEDIDAS MITIGADORAS AO PROCESSO EROSIVO**

**BRUNO CESAR PEREIRA DA COSTA**

**Orientador:** Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

**NATAL / RN  
JULHO DE 2010**

BRUNO CESAR PEREIRA DA COSTA

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE MANGUEZAIS ADJACENTES AOS  
CAMPOS PETROLÍFEROS DE MACAU E SERRA (RN), COMO  
SUBSÍDIO ÀS MEDIDAS MITIGADORAS AO PROCESSO EROSIVO**

*Este trabalho corresponde à Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo.*

Orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

**Natal/RN, Julho de 2010**

Divisão de Serviços Técnicos  
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Costa, Bruno Cesar Pereira da.

Avaliação ambiental de manguezais adjacentes aos campos petrolíferos de Macau e Serra (RN), como subsídio às medidas mitigadoras ao processo erosivo / Bruno Cesar Pereira da Costa. – Natal, RN, 2008.

159 f. : il.

Orientador: Venerando Eustáquio Amaro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo.

1. Avaliação de riscos ambientais – Rio Grande do Norte – Dissertação. 2. Ecologia dos manguezais – Dissertação. 3. Petróleo – Prospecção – Dissertação. 4. Reflorestamento – Dissertação. I. Amaro, Venerando Eustáquio. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 504(813.2)(043.2)

## AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE MANGUEZAIS ADJACENTES AOS CAMPOS PETROLÍFEROS DE MACAU E SERRA (RN), COMO SUBSÍDIO ÀS MEDIDAS MITIGADORAS AO PROCESSO EROSIVO

*Este trabalho corresponde à Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo.*

Aprovado em 19 de Julho de 2010

### BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

Orientador, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.



Prof. Dr. Marcela Marques Vieira

Membro Interno, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.



Dr. Michael Vandesteem Silva Souto  
Membro Externo, MINING VENTURES BRASIL

**COSTA, Bruno Cesar Pereira da Costa** – Avaliação Ambiental de Manguezais Adjacentes aos Campos Petrolíferos de Macau e Serra (RN), Como Subsídio às Medidas Mitigadoras ao Processo Erosivo. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. Área de Concentração: Meio Ambiente na Indústria do Petróleo. Natal-RN, Brasil.

**Orientador:** Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro - PPGCEP (UFRN)

## RESUMO

---

Dentre os diversos efeitos provocados pelas mudanças climáticas e pela intervenção humana, as alterações no ecossistema manguezal vêm merecendo destaque, cujas implicações para os ambientes estuarinos e costeiros adjacentes ainda estão distantes de serem conhecidas. Isto ocorre devido ao dinamismo presente nessas áreas, assim como a difícil compreensão dos processos associados à evolução das mesmas. O presente estudo teve como principal objetivo avaliar ambientalmente manguezais adjacentes aos campos petrolíferos de Macau e Serra, localizados no litoral setentrional do Rio Grande do Norte, como subsídio às medidas mitigadoras ao processo erosivo, além de, dentro dos princípios do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), avaliar a quantidade de carbono atmosférico sequestrado para o ecossistema estudado. Através de mapeamento do manguezal, foi realizado um inventário, o que forneceu subsídios para o delineamento desta pesquisa, principalmente, no que diz respeito à caracterização estrutural da área de manguezal. Para entender o comportamento do manguezal em questão em um nível maior de detalhe, buscaram-se explicações em unidades espaciais maiores. Técnicas de Sensoriamento Remoto, SIG e GPS forneceram informações de comparação entre os estados atual e passado do manguezal, possibilitando projeções antecipadas para os futuros impactos ou alterações desta região. Este trabalho combinou dados multiespectrais do LANDSAT 5 TM, LANDSAT 7 ETM+ com dados de microondas de radar do tipo SAR do RADARSAT-1, ampliando a capacidade de interpretação dos dados de sistemas de sensores óticos. As interpretações foram apoiadas com dados de campo, objetivando uma melhor e inovadora metodologia para a caracterização ambiental e taxonômica das florestas de mangue em questão. Os resultados encontrados revelam que os manguezais da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão são áreas representativas biologicamente e que fornecem uma variedade de benefícios, principalmente para as comunidades locais, constituindo-se de sítios prioritários para o desenvolvimento de ações com vistas a sua conservação. Revelam também a necessidade de se tomar medidas mitigadoras no sentido de recuperar as áreas degradadas ou através do reflorestamento se criar novas áreas de manguezal, pois atualmente 7,1% das florestas de mangue estudadas encontram-se mortas ou em estado de decomposição bem avançado. A quantidade de carbono atmosférico sequestrado se mostrou bem significativa quando analisado para toda a área em questão, sendo esta, capaz de sequestrar 4.294.458 Ton CO<sub>2</sub> atmosférico/ano.

---

Palavras-chave: mudanças climáticas; ecossistema manguezal; gerenciamento costeiro; reflorestamento; sequestro de carbono

---

## **ABSTRACT**

---

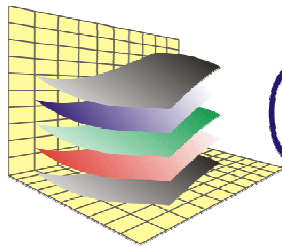
Among the various effects caused by the climate change and human intervention, the mangrove ecosystem changes through of the years has been worth mentioning, which hasn't known which are the pros and cons for the adjacent coastal and estuarine environments yet. It happens due to the present dynamism in these areas, besides of the difficult understanding of the processes associated with evolution. This study aimed to environmentally evaluate adjacent mangroves from the Macau and Serra oil fields, located on Rio Grande do Norte northern coast, to support the mitigating actions related to the containment of the erosive process, as well as, according to the principles of the Clean Development Mechanism (CDM), to assess the amount of atmospheric carbon sequestered by the studied ecosystem. An inventory was conducted through mangrove mapping which has supplied this research, especially regarding to the structural characterization of mangrove areas. To understand the local mangrove behavior in a greater level detail, techniques of remote sensing, GIS and GPS were used to make an analogy between the current and past states of the mangrove studied, allowing to make anticipated projections for the future impacts or changes in that region. This study combined data from multispectral LANDSAT 5 TM, Landsat 7 ETM+ with radar microwave data from SAR RADARSAT-1, which increased the interpretation capacity of the data from optical sensor systems. The interpretations have been supported by the data field, representing a better and innovative methodology for the environmental and taxonomic characterization of mangrove forests considered. The results reveal that mangroves of the Ponta do Tubarão Sustainable Development Reserve are biologically representative areas and providing a variety of benefits, especially for local communities, constituting the priority sites for actions development aimed at conservation. They also have been showing the necessity to make mitigating measures in order to recover degraded areas through reforestation or creating new areas of mangrove, as currently 7.1% of the mangrove forests studied are dead or in an advanced state of decomposition. The amount of atmospheric carbon sequestered proved very significant when analyzed for the whole area, which is able to sequester atmospheric 4,294,458 Ton CO<sub>2</sub> per year.

---

Key-words: climate change; mangrove ecosystem; coastal management; reflorestamento; sequestro de carbono

---

APOIO:



**GEOPRO** Laboratório de Geoprocessamento



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à NATUREZA. Por ter sido desde o início a fonte inspiradora de tudo isso, por ter me fascinado tanto, fazer tentar compreendê-la um pouco mais e, admirá-la tanto.

*“A humanidade é desumana  
mas ainda temos chance,  
o sol nasce para todos,  
só não sabe quem não quer.”*

**Renato Russo**  
*(in memoriam)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Joanir Cesar da Costa e Odete Pereira da Costa, que me apoiaram em todos os momentos, por nunca medirem esforços para minha formação, por todos os ensinamentos, dedicação, pelo amor, compreensão e constante estímulo em todas as etapas da minha vida. A vocês, expresso meu reconhecimento e sinceros agradecimentos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia do Petróleo (PPGCEP), pela aceitação no referido Curso, e por darem a oportunidade, subsídio, e incentivo para a conclusão do curso de Mestrado, através de seus professores, funcionários e infraestrutura. Aos seus secretários, Carlos Augusto e Viviane pela sua eficiência e dedicação;

Ao orientador Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro, a quem expresso muita gratidão pela concessão e pela orientação que me possibilitou aprender a cada dia mais com seus ensinamentos. Agradeço a atenção e principalmente a confiança em mim depositada, sendo esses os fatores indispensáveis para a realização deste trabalho;

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela oportunidade de fazer parte desta instituição que dispõe de ampla gama de recursos intelectuais;

Ao Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO), por disponibilizar esta incrível infra-estrutura física e pessoal;

Aos meus grandes irmãos Janine Cesar Pereira da Costa e Breno Cesar Pereira da Costa, que também expresso meus agradecimentos e fico na torcida de um futuro brilhante, cheio de vitórias e conquistas para todos;

À minha namorada Aline David de Araújo, por estar sempre ao meu lado, me apoiando e me incentivando em todos os momentos da minha vida. A você, a quem tanto admiro, expresso meu imenso carinho e gratidão;

Ao meu primo Rodrigo Cesar Santiago por toda ajuda empregada e ter caminhado ao meu lado durante boa parte desta trajetória;

Devo também um agradecimento especial as minhas tias Elizabeth e Lourdes, por nunca terem me negado ajuda, por sempre acreditarem, e confiarem na minha capacidade;

Aos meus avós paternos por todo o apoio e confiança a mim dedicados em especial ao meu avô João Florentino (*in memoriam*) por sempre ter sido um exemplo de vida e força de vontade bem como minha avó Nair Cesar;

A todos os membros da família por terem acreditado e que na medida do possível me ajudaram sempre que precisei;

Gostaria de expressar meus agradecimentos aos grandes amigos do GEOPRO (Laboratório de Geoprocessamento - UFRN), Anderson Targino, Dalton Rosemberb, Fátima Alves “Fatinha”, Raniere Maia e Sérgio Tadeu. Ambos, pelos seus incríveis ensinamentos, companheirismo e principalmente pela paciência;

Aos outros amigos do GEOPRO (Laboratório de Geoprocessamento - UFRN), que sempre estiveram presentes nesta caminhada. Dessa forma, agradeço a toda a equipe: Allanderson, Anderson, Angélica, Alanderson, André, Arnóbio, Bianca, Bruno Rafael, Caio, Carla, Charles, Dário, Gabriel, Josembergue, Luciana, Marcelo, Márcia, Michael, Miriam, Poliana, Sônia, Vitor e Walkyso;

À grandiosa ajuda em campo aos amigos em Diogo Lopes; Aureliano Honorato dos Santos “Sr. Aurélio”, seu filho, Aureliano Honorato dos Santos Júnior “Júnior” e também a Renato;

Aos Projetos PETRORISCO – Fase 2 (“Monitoramento Ambiental de áreas de risco a derramamento de petróleo e seus derivados”), HIDROSEMA (“Monitoramento das Mudanças Ambientais e da Influência das Forçantes Hidrodinâmicas na Morfodinâmica Costeira nos Campos de Serra-Macau, Bacia Potiguar”) da Rede Cooperativa Norte-Nordeste em Monitoramento Ambiental de Áreas sob Influência da Indústria Petrolífera (REDE 05-PETROMAR, CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq) pelos recursos disponibilizados;

A todos os colegas colaboradores do GEMMA (Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental), coordenado pela Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Helenice Vital (a quem manifesto também meu agradecimento). Agradeço especialmente a Canindé.

Em fim, agradeço também a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

## SUMÁRIO

Resumo .....	iv
Abstract .....	v
Dedicatória.....	vii
Agradecimentos .....	ix
Lista de figuras.....	xiv
Lista de fotos.....	xviii
Lista de tabelas.....	xxii
Lista de siglas.....	xxiii

### CAPÍTULO I

#### Introdução

<b>1.1</b>	<b>Apresentação .....</b>	<b>02</b>
<b>1.2</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>02</b>
<b>1.3</b>	<b>Problemática e justificativa.....</b>	<b>04</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>05</b>
	1.4.1 Objetivo geral .....	05
	1.4.2 Objetivos específicos.....	06
<b>1.5</b>	<b>Localização e vias de acesso .....</b>	<b>06</b>
<b>1.6</b>	<b>RDSEPT .....</b>	<b>08</b>

### CAPÍTULO II

#### Fundamentação Teórica

<b>2.1</b>	<b>Aspectos fisiográficos.....</b>	<b>11</b>
	2.1.1 Clima .....	11
	2.1.2 Hidrografia .....	12
	2.1.3 Temperatura .....	14
	2.1.4 Insolação .....	15
	2.1.5 Precipitação .....	15
	2.1.6 Umidade relativa do ar .....	16
	2.1.7 Ventos .....	17
	2.1.8 Marés.....	18
	2.1.9 Ondas.....	19
	2.1.10 Correntes.....	20
	2.1.11 Relevo .....	21
	2.1.12 Solo .....	22
	2.1.13 Vegetação .....	25
	2.1.13.1 Cobertura vegetal das áreas estudadas .....	26
	2.1.13.2 Área das formações pioneiras com influência marinha .....	26
	2.1.13.3 Áreas das formações pioneiras com influência fluvio-marinha .....	29
	2.1.13.4 Caracterização florística e fisionômica do manguezal da RDSEPT .....	29
	2.1.13.5 Caracterização florística das áreas estudadas .....	30
	2.1.14 Aspectos socioeconômicos.....	33
<b>2.2</b>	<b>Contexto geológico .....</b>	<b>35</b>
	2.2.1 Geologia local.....	35
<b>2.3</b>	<b>Contexto geomorfológico.....</b>	<b>37</b>
	2.3.1 Tabuleiro costeiro.....	38
	2.3.2 Superfície de aplainamento .....	39

2.3.3	Planície de inundação fluvio-estuarina .....	39
2.3.4	Planície fluvio-marinha .....	40
2.3.5	Planície de maré .....	40
2.3.6	Dunas .....	41
2.3.6.1	Dunas móveis .....	41
2.3.6.2	Dunas fixas .....	41
2.3.7	Planície interdunar .....	42
2.4	Geoprocessamento .....	42
2.5	Comportamento espectral da vegetação .....	43
2.6	Imagens de Radar .....	47

### **CAPÍTULO III**

#### **Metodologia**

3.1	Metodologia .....	51
3.2	Roteiro metodológico .....	53
3.3	Estimativa do manguezal .....	53
3.4	Levantamento bibliográfico e cartográfico .....	54
3.5	Uso das técnicas de geoprocessamento .....	54
3.6	Sensoriamento Remoto e PDI .....	55
3.7	Levantamento de campo .....	55
3.8	Materiais de campo .....	59
3.9	Etapa laboratorial .....	59
3.10	Confecção de mapas temáticos .....	60

### **CAPÍTULO IV**

#### **O Ecossistema Manguezal**

4.1	O manguezal .....	62
4.2	O manguezal e sua distribuição geográfica mundial .....	63
4.3	O manguezal e sua distribuição geográfica no Brasil .....	64
4.4	Principais funções dos manguezais .....	67
4.5	Fauna .....	69
4.6	Flora .....	71
4.7	Problemas ambientais comuns aos manguezais .....	77
4.8	Legislação protetiva .....	80
4.9	Manguezal e a indústria do petróleo .....	83

### **CAPÍTULO V**

#### **Aplicações das Imagens Orbitais no Monitoramento Ambiental do Manguezal da RDSEPT**

5.1	Interpretação das imagens orbitais .....	87
5.2	Análise multitemporal da evolução da linha de costa de 1989 a 2009 .....	95
5.3	Análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009 .....	101
5.4	Análise multitemporal dos impactos antrópicos na RDSEPT .....	105
5.5	Análise multitemporal das florestas de mangue de 1989 a 2009 .....	107
5.6	Prognóstico .....	116
5.7	Inventário e caracterização do manguezal da RDSEPT .....	118
5.8	Estrutura dos bosques de mangue da RDSEPT .....	121

<b>5.9</b>	<b>Ocorrência de espécies de mangue na RDSEPT</b> .....	121
<b>5.10</b>	<b>A importância do reflorestamento de manguezais</b> .....	128
<b>5.11</b>	<b>O reflorestamento de manguezais e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)</b> .....	134
<b>5.12</b>	<b>Indicação de espécies para o plantio</b> .....	135
<b>5.13</b>	<b>Estimativa do carbono fixado no manguezal da RDSEPT</b> .....	137

## ***CAPÍTULO VI***

### **Conclusões e Recomendações**

<b>6.1</b>	<b>Conclusões</b> .....	141
<b>6.2</b>	<b>Recomendações</b> .....	142

### **Bibliografia**

Referência bibliográfica.....	146
-------------------------------	-----

### **Anexos**

Anexos .....	159
--------------	-----

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.1:** Mapa de localização da área de estudo. Município de Macau, Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. .... 07
- Figura 1.2:** Mapa representado as coordenadas de limite da área da RDS Ponta do Tubarão. Fonte: SUGERCO – (IDEMA, 2002). .... 08

### CAPÍTULO II

- Figura 2.1:** Mapa de hidrologia da área de estudo. Modificado de (Silva, 2009). .... 13
- Figura 2.2:** Gráfico das temperaturas diárias (mínima, média e máxima) na área de estudo. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2009). .... 15
- Figura 2.3** – Gráfico da precipitação pluviométrica média na região de Macau, Posto Macau-Salina, entre os anos de 1914 e 2008. Fonte: EMPARN (2008). .... 16
- Figura 2.4:** Gráfico representando a umidade relativa referente ao mês de Dezembro de 2008. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2009). .... 17
- Figura 2.5:** Mapa representativo das correntes marítimas e direção dos ventos na área de estudo. Modificado de Souto (2004) e Silva (2009). .... 18
- Figura 2.6:** Modelo digital do terreno integrado com dados batimétricos. (exagero de 50x), destacando o paleocanal do Rio Piranhas-Açu, a quebra da plataforma e os principais compartimentos geomorfológicos. Em destaque, a área de trabalho. Modificado de Silva (2007). .... 22
- Figura 2.7:** Mapa de solos da área de estudo. Modificado de Souto (2004). .... 23
- Figura 2.8:** Mapa de vegetação da área de estudo. Modificado de Souto (2004). .... 26
- Figura 2.9:** Mapa de compartimentação ambiental ligada ao manguezal da RDSEPT..... 32
- Figura 2.10:** Principais atividades socioeconômicas existentes na área de estudo. Pesca artesanal, agricultura subsistência, indústrias carcinocultura, salineira e petrolífera. .... 33
- Figura 2.11:** Mapa das principais atividades socioeconômicas desenvolvidas na área de estudo. Modificado de Silva (2009) com base em ANP (2008) e imagem .CBERS 2008. .... 35
- Figura 2.12:** Mapa da Bacia Potiguar para a área de estudo. Modificado de Silva (2009). .... 36
- Figura 2.13:** Mapa geológico para a área de estudo. Modificado de Silva (2009). .... 37
- Figura 2.14:** Mapa geomorfológico da área de estudo. Modificado de Silva (2009). .... 39

<b>Figura 2.15:</b> Representando pico da reflectância no topo verde do dossel florestal. ....	43
<b>Figura 2.16:</b> Comportamento espectral da vegetação no espectro eletromagnético. Fonte: Propriedades ópticas da vegetação e do solo (2004). ....	45
<b>Figura 2.17:</b> Representação gráfica do modelo RGB. ....	45
<b>Figura 2.18:</b> Propriedades aditivas do modelo RGB. ....	46
<b>Figura 2.19:</b> Variações angulares da componente H. ....	47
<b>Figura 2.20:</b> Mecanismos e componentes do retroespalhamento proveniente de florestas em imagens de radar: (1) retroespalhamento da superfície e interior do dossel, (2) retroespalhamento direto do tronco, (3) retroespalhamento direto do solo, (4) dupla reflexão tronco-solo e (5) retroespalhamento integrado copa-solo adaptado de Leckie e Ranson, (1998). ....	49

### CAPÍTULO III

<b>Figura 3.1:</b> Fluxograma da metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho. ....	52
<b>Figura 3.2:</b> Mapa de campo utilizando carta imagem QUICKBIRD 2006 para o reconhecimento da área <i>in loco</i> . ....	56
<b>Figura 3.3:</b> Mapa de campo utilizando carta imagem LANDSAT 5-TM 2009 R (PC1) G (PC3) B (PC2) I (RADARSAT) para a caracterização florística e fisionômica do Manguezal da RDS Ponta do Tubarão. ....	57

### CAPÍTULO IV

<b>Figura 4.1:</b> Distribuição global dos mangues ao longo das seis regiões biogeográficas, sua distribuição esta associada com a isoterma de 20°C durante o inverno. No verão a duas isotermas migram no sentido dos pólos. Estas também influenciam as correntes marinhas. Adaptado de Spalding <i>et al.</i> , (1997). ....	63
<b>Figura 4.2:</b> Mapa de divisão das eco-regiões brasileiras. Sub-divisão baseada nas características climatológicas, geomorfológicas e geológicas. Modificado de Lacerda (2005). ....	65
<b>Figura 4.3:</b> Gráfico da distribuição do percentual de área ocupada por manguezais no Brasil. Fonte: Adaptado de Herz (1991). ....	67
<b>Figura 4.4:</b> Mapa operacional de sensibilidade ambiental a derrames de óleo. Fonte: Adaptado de Souto (2004). ....	84

### CAPÍTULO V

<b>Figura 5.1:</b> Imagem [A] LANDSAT 5-TM 2009 R (5) G (4) B (2), imagem [B] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC1) G (PC3) B (PC2), imagem [C] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC3) G (PC4) B (PC5), imagem [D] LANDSAT 5-TM 2009 R (4) G (NDVI) B (2/3). ....	91
--	----

<b>Figura 5.2:</b> Imagem [A] LANDSAT 5-TM 2009 R (5) G (4) B (2) I (RADARSAT-1), imagem [B] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC1) G (PC3) B (PC2) I (RADARSAT-1), imagem [C] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC3) G (PC4) B (PC5) I (RADARSAT-1), imagem [D] LANDSAT 5-TM 2009 R (4) G (NDVI) B (2/3) I (RADARSAT-1). .....	92
<b>Figura 5.3:</b> Imagem mostrando as vantagens da fusão de imagens, onde imagens da esquerda foram produzidas apenas a partir imagem LANDSAT 5-TM enquanto imagens da direita são os resultado da fusão entre LANDSAT 5-TM e RADARSAT-1. ....	94
<b>Figura 5.4:</b> Mapa de análise multitemporal da linha de costa, dunas móveis e do manguezal de 1989 a 2009. ....	96
<b>Figura 5.5:</b> Mapa de análise multitemporal da evolução da linha de costa de 1989 a 2009. ....	97
<b>Figura 5.6:</b> Mapa de quantificação multitemporal do balanço sedimentar da linha de costa de 1989 a 2009. ....	98
<b>Figura 5.7:</b> Gráfico de quantificação do balanço sedimentar multitemporal da linha de costa de 1989 a 2009. ....	100
<b>Figura 5.8:</b> Mapa de análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009. ....	102
<b>Figura 5.9:</b> Mapa de análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009. ....	104
<b>Figura 5.10:</b> Análise multitemporal para impactos antrópicos na RDSEPT entre os anos de 1954 e 1989. ....	106
<b>Figura 5.11:</b> Imagem [A] LANDSAT 5-TM 28/09/1988 RGB-H1-H2-H3, imagem [B] LANDSAT 5-TM 02/08/1898 RGB-H1-H2-H3, imagem [C] LANDSAT 7-ETM + 10/09/2002 RGB-H1-H2-H3, imagem [D] LANDSAT 5-TM 11/06/2009 RGB-H1-H2-H3. ....	109
<b>Figura 5.12:</b> Mapa de análise multitemporal do manguezal de 1989 a 2009. ....	110
<b>Figura 5.13:</b> Mapa de análise multitemporal do manguezal de 1989 a 2009. ....	112
<b>Figura 5.14:</b> Localização das áreas de manguezal impactadas na área do estudo com respectivas fotos. ....	115
<b>Figura 5.15:</b> Gráfico de quantificação do balanço entre mangue morto e mangue nascido em hectares de 1989 a 2009. ....	116
<b>Figura 5.16:</b> Mapa de análise taxonômica do manguezal da área de trabalho, [1] manguezal da RDSEPT, [2] manguezal da área de controle. LANDSAT 5-TM 2009 R (5) G (4) B (2) I (RADARSAT-1). ....	119
<b>Figura 5.17:</b> Diferença na resposta espectral para <i>Rizophora mangle</i> L. e <i>Avicenia germinans</i> L. ....	120
<b>Figura 5.18:</b> Análise fitogeográfica/arbório-taxonômica do manguezal da RDSEPT. ....	122

- Figura 5.19:** Mapa de análise taxonômica do manguezal da área de trabalho através de classificação supervisionada, [1]: manguezal da RDSEPT, [2]: manguezal da área de controle. .... 124
- Figura 5.20:** Mapa de análise taxonômica do manguezal da área de trabalho através de classificação não supervisionada, [1]: manguezal da RDSEPT, [2]: manguezal da área de controle. .... 126
- Figura 5.21:** Mostrando a comparação da resposta espectral/resolução para LANDSAT R(5)G(4)B(2), LANDSAT R(5)G(4)B(2)I(RADARSAT), classificação supervisionada e não supervisionada para RDSEPT e área de controle. .... 127
- Figura 5.22:** Mapa indicando em cor verde escuro as áreas susceptíveis ao plantio de espécies vegetais, indicadas por (Nascimento, 2009) e (Dantas, 2009). .... 129
- Figura 5.23:** Gráfico mostrando a comparação entre a quantidade de mangue a ser acrescido e o mangue caso se concretize o plantio de novas áreas entre os anos de 2009 e 2016. .... 130
- Figura 5.24:** Gráfico mostrando a comparação entre o mangue naturalmente acrescido e degradado entre os anos de 1989 e 2009. Revela também a comparação entre o mangue naturalmente acrescido e degradado, caso se concretize o plantio de novas áreas entre os anos de 2009 e 2016. .... 130
- Figura 5.25:** Competência erosiva do canal paralelo à linha de costa, foto: **A** campo de produção Macau e estação coletora; foto **B**: sentido e direção do canal; foto **C**: intensa erosão no sedimento da linha de costa. Fonte: Adaptado de Souto (2006). .... 132

## LISTA DE FOTOS

### CAPÍTULO III

- Foto 3.1:** Demarcação de área aleatória 15X15m no interior da floresta de mangue para levantamentos correspondentes aos indivíduos vegetacionais ocorrentes na área demarcada. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 58
- Foto 3.2:** Aferição da circunferência na altura do peito (CAP), em todos os indivíduos nas áreas demarcadas para verificar o estágio de desenvolvimento de tais indivíduos. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 58
- Foto 3.3:** Barco tradicional de pesca a motor tipo - **bote** – de médio porte construído em madeira, utilizado para locomoção nos canais de maré como também no mar paralelo à linha de costa. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 59
- Foto 3.4:** Equipamento - **GPS de navegação -GARMIM**. Tal equipamento trabalha em qualquer condição de tempo, em qualquer lugar no mundo, 24 horas por dia e foi utilizado também como ferramenta de campo. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 59
- Foto 3.5:** Embarcação de pequeno porte tipo - **Canoa** - construída em madeira, impulsionada a remo(s), a vela e ou por meio de uma vara, utilizada para locomoção e reconhecimento de áreas no interior do estuário. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 59

### CAPÍTULO IV

- Foto 4.1:** **Molusco** da Classe **Gastropoda**. Várias espécies podem ser encontradas em ambientes de manguezal. Possuem o corpo protegido por uma *concha*, com formato helicoidal sobre o lado direito embora algumas formas tenham evoluído uma concha mais simples. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 69
- Foto 4.2:** *Uca pugnax* - **chama-maré** - Tais caranguejos são geralmente pequenos, sendo os machos possuidores de uma das pinças bem maior que a outra. Costumam viver em manguezais e na zona entre marés, praias arenosas protegidas, baías e de estuários. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 69
- Foto 4.3:** Detalhe de indivíduo adulto de, *Rhizophora mangle* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 72
- Foto 4.4:** *Rhizophora mangle* L. - **Propágulos** - estruturas constituídas basicamente por células meristemáticas que se desprendem de uma planta adulta para dar origem a uma nova planta, geneticamente idêntica à planta de origem (clones). Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 73
- Foto 4.5:** *Rhizophora mangle* L. - **Flor Monóica** - Elemento de reprodução das fanerógamas. Flor que possui gametas masculino e feminino (Monóica). Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 73
- Foto 4.6:** *Rhizophora mangle* L. – **Raízes aéreas respiratórias ou pneumatóforo** - Nesses ambientes, o solo é geralmente muito pobre em gás oxigênio. Essas raízes possuem poros que permitem a absorção de oxigênio atmosférico. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 73

- Foto 4.7:** Detalhe da morfologia foliar de *Rhizophora mangle* L. A folha é a principal sede de elaboração de alimentos orgânicos sob a ação da luz (fotossíntese) e eliminação de água na forma de vapor (transpiração). O limbo possui lâmina simples de forma elíptica, oval de ponta pequena. Onde **A**, trata-se da face abaxial (inferior) e **B**, da face adaxial (superior). Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 73
- Foto 4.8:** Detalhe de **Plântula** de *Rhizophora mangle* L.. Embrião vegetal que começa a desenvolver-se na germinação da semente; pequena planta recém-nascida. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 74
- Foto 4.9:** Detalhe de indivíduo adulto de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 74
- Foto 4.10:** Detalhe da flor de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 75
- Foto 4.11:** Detalhe do fruto de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 75
- Foto 4.12:** Detalhe de **Plântula** de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 75
- Foto 4.13:** Detalhe da morfologia foliar de *Avicennia germinans* L.. O limbo possui lâmina simples de forma cuneiforme e de cunha de base aguda. **A**: face adaxial (superior) e **B**: face abaxial (inferior). Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 75
- Foto 4.14:** Detalhe da raiz de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 75
- Foto 4.15:** Detalhe de indivíduo adulto de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 76
- Foto 4.16:** Detalhe da flor de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 76
- Foto 4.17:** Detalhe do fruto de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 76
- Foto 4.18:** Detalhe da morfologia foliar de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. O limbo possui lâmina simples de forma truncada de ápice em esquadria. **A**: face adaxial (superior) e **B**: face abaxial (inferior). Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 77
- Foto 4.19:** Detalhe de **Plântula** de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 77
- Foto 4.20:** Campo de produção de petróleo e gás natural Serra, em contato direto com o manguezal. Foto: PETROBRAS (2006). ..... 83
- Foto 4.21:** Plataforma de extração de petróleo e gás natural em contato direto com ambientes associados ao manguezal. Foto: PETROBRAS (2006). ..... 83

## CAPÍTULO V

- Foto 5.1:** Árvores de mangue aparentemente ainda sem sofrer os efeitos do avanço da linha de costa antes da abertura da barra. Foto: Arquivo GEOPRO. (2007). ..... 100
- Foto 5.2:** Árvores de mangue já sofrendo os efeitos do avanço da linha de costa e abertura da barra. Foto: Bruno Costa. (2009). ..... 100
- Foto 5.3:** Árvores de mangue totalmente mortas devido os efeitos do avanço da linha de costa e a abertura de uma nova barra. Foto: Bruno Costa. (2010). ..... 100
- Foto 5.4:** Campo de dunas móveis em estado migratório causando o soterramento de lagoas temporárias. Foto: Arquivo GEOPRO. (2007). ..... 103
- Foto 5.5:** Campo de dunas móveis em estado migratório causando o soterramento de propriedades rurais. Foto: Arquivo GEOPRO. (2007). ..... 103
- Foto 5.6:** Construção de taludes de viveiros para empreendimento de carcinicultura nas proximidades do manguezal, provocando o barramento de canais de alimentação e drenagem do manguezal. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 114
- Foto 5.7:** Instalação de casa de bombas para a retirada de água do estuário para manutenção dos viveiros no empreendimento de carcinicultura Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 114
- Foto 5.8:** Face abaxial do dossel de *Rhizophora mangle* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 120
- Foto 5.9:** Face abaxial do dossel de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008). .... 120
- Foto 5.10:** Detalhe da superfície caulinar de; **A** *Avicennia germinans* L., **B** *Rhizophora mangle* L. e **C** *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. O caule é o elemento de ligação entre as raízes e as folhas. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 121
- Foto 5.11:** Banco areno-lamoso com a presença de paleomanguezal exposto. Foto: PETROBRAS 2006. .... 129
- Foto 5.12:** Caule de paleomangue exposto. Foto: PETROBRAS 2006. .... 129
- Foto 5.13:** Tubulação da PETROBRAS exposta devido ao processo migratório sedimentar provocado pela ação eólica causando grandes riscos de derramamento. Foto: Bruno Costa. (2010). ..... 134
- Foto 5.14:** Intervenção tipo *Hard* para tentar evitar a erosão sedimentar da costa e preservar a estrada de acesso ao campo Serra de produção de petróleo e gás, como também de energia eólica. Foto: Bruno Costa. (2010). ..... 134
- Foto 5.15:** Intervenção tipo *Hard* para tentar evitar a erosão sedimentar da costa e preservar o campo Macau de produção de petróleo e gás. Foto: Bruno Costa. (2010). ..... 134

- Foto 5.17:** Detalhe de indivíduo adulto: *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 136
- Foto 5.18:** Detalhe da flor de *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown.. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 136
- Foto 5.19:** Detalhe de indivíduo adulto *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb. Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 136
- Foto 5.20:** Detalhe da flor de *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb..Foto: Bruno Costa. (2008). ..... 136
- Foto 5.21:** Detalhe de indivíduo adulto de *Calotropis procera* R. Br.. Foto: Bruno Costa 2008. .... 137
- Foto 5.22:** Detalhe da inflorescência de *Calotropis procera* R. Br.. Foto: Bruno Costa. 2008. .... 137

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO III

**Tabela 3.1:** Pontos de visita e coletas em campo, na projeção UTM. .... 58

### CAPÍTULO V

**Tabela 5.1.:** Tabela de cálculo da área de manguezal da RDSEPT ocupado por impactos antrópicos nos anos de 1954 e 1989. .... 107

**Tabela 5.2:** Tabela de valores de densidade, biomassa e carbono armazenado em *Avicennia shaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* L. no manguezal de Itaipú, Niterói, RJ. .... 138

**Tabela 5.3:** Tabela de valores de densidade, biomassa e carbono armazenado em *Avicennia germinans* L., e *Rhizophora mangle* L. no manguezal da RDSEPT. .... 139

## LISTA DE SIGLAS

**ABCC** - Associação Brasileira dos Criadores de Camarão  
**ALP** - Atlântico Leste Pacífico  
**ANP** - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
**CBERS** - China-Brazil Earth Resources Satellite (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres)  
**CE** - Ceará  
**CNB** - Corrente Norte do Brasil  
**CNPq** - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
**CPRM** - Serviço Geológico do Brasil  
**DG** - Departamento de Geologia  
**DHNM** - Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha  
**DSG** - Diretoria de Serviço Geográfico  
**E** - Leste  
**EMPARN** - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte  
**ETM+** - Enhanced Thematic Mapper Plus  
**EUA** - Estados Unidos da América  
**FINEP** - Financiadora de Estudos e Projetos  
**GEOPRO** - Laboratório de Geoprocessamento  
**GPS** - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)  
**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**IDEC** - Instituto de desenvolvimento econômico e meio ambiente do Rio Grande do Norte  
**IDEMA** - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte  
**INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia  
**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
**IOP** - Indo-Oeste Pacífico  
**IVP** - Infra vermelho próximo  
**MDL** - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo  
**N** - Norte  
**NDVI** - Normalised Difference Vegetation Index (índice de diferença de vegetação normalizado)  
**NE** - Nordeste  
**NW** - Noroeste  
**ONGs** - Organizações não Governamentais  
**PC** - Principal Componente  
**PDI** - Processamento Digital de Imagens  
**PNE** - Plano Nacional dos Estuários  
**PPGCEP** - Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia do Petróleo  
**PPGG** - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica  
**PRADE** - Programa de Restauração de Áreas Degradadas  
**PRODES** - Projeto Desmatamento  
**RADAR** - Radio Detection And Ranging (Detecção e Telemetria pelo Rádio)  
**RDSEPT** - Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão  
**RGB** - Sistema de cores aditivas formado por Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue)  
**RN** - Rio Grande do Norte  
**S** - Sul  
**SEPLAN** - Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento  
**SIG** - Sistemas de Informações Geográficas

**SR** - Sensoriamento Remoto

**SUDENE** - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

**TM** - Thematic Mapper

**UFRN** - Universidade Federal do Rio Grande Norte

**UTM** - Universal Transverse Mercator (Universal Transversa de Mercator)

**W** - Oeste

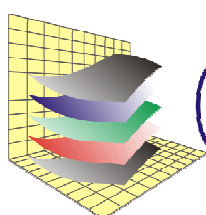


---

# CAPÍTULO I

*Introdução*

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

## 1.1 Apresentação

A presente Dissertação de Mestrado corresponde à etapa final das atividades de pesquisa e pós-graduação desenvolvidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo (PPGCEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Nesta Dissertação de Mestrado tive o expressivo apoio do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia (GEOPRO/DG/UFRN).

As atividades de pesquisa desenvolvidas estão vinculadas aos Projetos Cooperativos PETRORISCO – Fase 2 ("Monitoramento Ambiental de áreas de risco a derramamento de petróleo e seus derivados") e HIDROSEMA ("Monitoramento das Mudanças Ambientais e da Influência das Forçantes Hidrodinâmicas na Morfodinâmica Costeira nos Campos de Serra-Macau, Bacia Potiguar") da Rede Cooperativa Norte-Nordeste em Monitoramento Ambiental de Áreas sob Influência da Indústria Petrolífera (REDE 05- PETROMAR, CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq).

## 1.2 Introdução

A região costeira setentrional do Estado do Rio Grande do Norte apresenta, em função de suas características naturais, uma estrutura frágil às intervenções humanas e aos efeitos provenientes das mudanças climáticas globais, sendo ao mesmo tempo detentora de grandes potencialidades socioeconômicas. Na região de estudo encontra-se uma diversidade de ecossistemas como praias, dunas, estuários, lagoas costeiras, manguezais, braços de mar, dentre outras feições geomorfológicas. Tal diversidade fez desta região um local com inúmeras formas de ocupação e uso do solo, em destaque para indústria petrolífera, da carcinicultura e salineira (IDEC, 1994). No Rio Grande do Norte, a área costeira onde estão localizados os campos petrolíferos de Macau e Serra está no centro desta discussão, pois a intensa ação da dinâmica costeira tem sido responsável pela busca de novas alternativas metodológicas que subsidiem a permanência sustentável da atividade de exploração e produção de petróleo e gás nos campos de Macau e Serra (Nascimento, 2009).

O inventário, por meio de mapeamento de unidades geoambientais como: manguezal, dunas, linha de costa, dentre outras, utilizando técnicas de Geoprocessamento entre elas o Sensoriamento Remoto (SR), o Processamento Digital de Imagem (PDI) e a integração por Sistema de Informações Geográficas (SIG), constitui-se da primeira etapa do estudo das áreas de manguezal existentes na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do

Tubarão (RDSEPT), gerando informações a respeito da extensão, situação e tipos de bosques ali encontrados. Tal levantamento forneceu subsídios para o delineamento metodológico desta pesquisa, principalmente, no que diz respeito também à caracterização estrutural, pois o manejo de manguezais não pode ser baseado unicamente em considerações de caráter biológico. Deve considerar fatores socioeconômicos, incluindo seu potencial em gerar bens e serviços.

Os manguezais constituem um dos ecossistemas mais produtivos do planeta, por se apresentarem como importante fonte de nutrientes e abrigo para espécies características desses ambientes e de águas adjacentes, mas também pela importância tanto nutritiva quanto socioeconômica de comunidades alocadas em seus arredores. O manguezal é um sistema costeiro tropical, dominado por espécies vegetais típicas (angiospermas), às quais se associam outros componentes da flora e da fauna adaptados a um substrato predominantemente lodoso, com baixos teores de oxigênio, periodicamente inundado pelas marés, com grandes variações de salinidade. Os limites do manguezal são estabelecidos pelo nível médio das preamares de quadratura e pelo nível das preamares de sizígia (Schaeffer-Novelli, 1991).

Estes manguezais desenvolvem-se atrás de praias e dunas, às margens das baías, em consórcio com restingas, nos estuários. Apesar da baixa diversidade de espécies arbóreas, os manguezais caracterizam-se por uma grande variabilidade espacial, como resposta às diferentes condições locais de salinidade, inundação e dinâmica costeira (Prost e Rabelo, 1996).

Para Dugan (1992), funções como purificação e armazenamento de água, proteção contra tempestades, estabilização das condições climáticas locais, recarga e descarga de aquíferos, retenção de contaminantes; e valores, como base de cadeias alimentares estuarinas e marinhas, oferta de recursos de flora e fauna e possibilidades de turismo e recreação são desempenhados e gerados “gratuitamente” pelos manguezais.

Segundo Hosokawa *et al.* (1998), as florestas têm nos últimos anos recebido crescente atenção no que se refere ao seu potencial para contribuir com a redução do Efeito Estufa, por meio de sua capacidade de armazenar carbono durante o processo natural de produção de biomassa. A expansão da cobertura florestal global apresenta-se como uma possibilidade para aumentar o estoque de carbono terrestre armazenado e diminuir o crescimento da concentração de gás carbônico na atmosfera. A estocagem de carbono na forma de maciços florestais, ou na forma de produtos e bens duráveis é uma das alternativas de otimização do carbono fixado. Estas florestas poderiam reduzir a temperatura global, aumentar a renda da sociedade, contribuir com diversos aspectos de importância ambiental.

Corriqueiramente, associam-se áreas de manguezais a grandes quantidades de impactos. Uma ferramenta de relevante importância na detecção, descrição, quantificação e monitoramento de alterações ambientais é o SIG, o qual combinado com dados de SR e outros dados espacializados se tornam uma ferramenta de manejo de grande valia para o gerenciamento deste ecossistema em geral.

Atualmente, o uso de técnicas de gerenciamento ambiental por meio de ferramentas tecnológicas vem se tornando cada vez mais importante na obtenção de informações úteis na gestão ambiental. Uma dessas ferramentas pode ser representada para obtenção de informações da resposta espectral dos alvos, cujas aplicações exigem a consideração de vários fatores como, a textura do solo e o tipo de vegetação em estudo, pois os mesmos podem influenciar na interpretação dos dados.

### **1.3 Problemática e Justificativa**

A intensificação do Efeito Estufa decorrente das atividades humanas e as mudanças climáticas associadas a este processo, bem como seus efeitos como, por exemplo, o avanço do nível do mar representa uma das grandes preocupações da atualidade. Em função disso, diversos trabalhos vêm sendo realizados visando à compreensão e mitigação de tais processos.

Nesse contexto, o papel das florestas tropicais e oceanos na ciclagem de carbono e estabilização de áreas têm recebido especial atenção. Assim como estes sistemas, os manguezais têm importante papel nestes processos, por se tratarem de uma região de transição entre os ecossistemas terrestre e marinho onde ocorrem importantes processos biológicos e geoquímicos, podendo armazenar grande quantidade de carbono tanto na vegetação como em sedimentos, assim como a estabilização sedimentar.

O estudo da diversidade biológica nunca foi tão importante quanto no momento atual, pois qualquer estudo ligado à conservação ou ao uso sustentável requer um mínimo de conhecimentos ecológicos e da sistemática existente entre organismos e ecossistemas. Entretanto, o tempo para obtenção destes, bem como os recursos logísticos e humanos disponíveis são escassos, especialmente em países pobres e com grande diversidade. Diante dessas dificuldades, é essencial desenvolver estratégias de inventário e monitoramento rápido visando conhecer a qualidade e a diversidade biológica, assim como criar a infra-estrutura necessária para gerar, armazenar e utilizar dados sobre a biodiversidade. Inventariar a fauna e a flora de uma determinada área de um ecossistema é o primeiro passo para a sua conservação e uso racional. Sem um conhecimento mínimo sobre quais organismos ocorrem neste local, e

sobre quantas espécies podem ser encontradas nele, é virtualmente impossível desenvolver qualquer projeto de conservação.

Visando conhecer o grau de conservação da cobertura vegetal do manguezal da RDSEPT, se faz necessário o levantamento florístico das unidades ambientais existentes, a fim de obter como resultado final o reconhecimento dos tipos vegetacionais que possam contribuir para as estratégias de conservação, e a preservação da biodiversidade local, como também uma fonte geradora de recursos.

Estudos de avaliação e monitoramento ambiental vêm sendo realizados nos últimos anos na área dos Campos de Serra e Macau como, por exemplo, Souto (2002, 2004 e 2009), Souza (2008), Silva (2009), Nascimento (2009) e Dantas (2009). Na região, a conformação litorânea é caracterizada por intenso processo de transporte de sedimentos pela ação marinha e eólica, ocasionando erosão e situações de instabilidade morfológica da linha de costa, o que pode acarretar maior exposição das instalações da PETROBRAS a riscos de acidentes. Trata-se da resultante dos processos do meio físico, das condições climáticas, das variações do nível do mar, da natureza das sequências geológicas, das atividades neotectônicas e do déficit no suprimento de sedimentos carreados pelos rios da região (Suguiu, 1988). Nos últimos tempos, estes processos têm se intensificado, ocasionando a abertura de um canal de maré, com consequente isolamento de uma base da PETROBRAS e erosão e assoreamento das outras bases instaladas nos referidos campos, gerando grande risco ambiental. A abertura desse canal talvez tenha ocorrido em detrimento do surgimento da Ilha do Tubarão.

Atualmente, a produção média do Campo de Serra é de 518 m<sup>3</sup>/d do óleo produzido, representando aproximadamente 16% da produção do Ativo de Produção Alto do Rodrigues, enquanto a do Campo de Macau é de 8m<sup>3</sup>/d, representando aproximadamente 0.2% do óleo produzido o que justifica o esforço para manter a produção desses campos. Além disso, outras atividades econômicas, como a pesca artesanal, a carcinicultura, as salinas, dentre outras, também são desenvolvidas nas adjacências destes campos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa se propõe, por meio do uso de ferramentas geotecnológicas, analisar a situação estrutural e biológica atual do manguezal existente na RDSEPT, visando fornecer o embasamento científico à aplicação de tecnologias sustentáveis através do replantio de

espécies vegetais em área costeira susceptível a processos erosivos na área dos Campos de Serra e Macau.

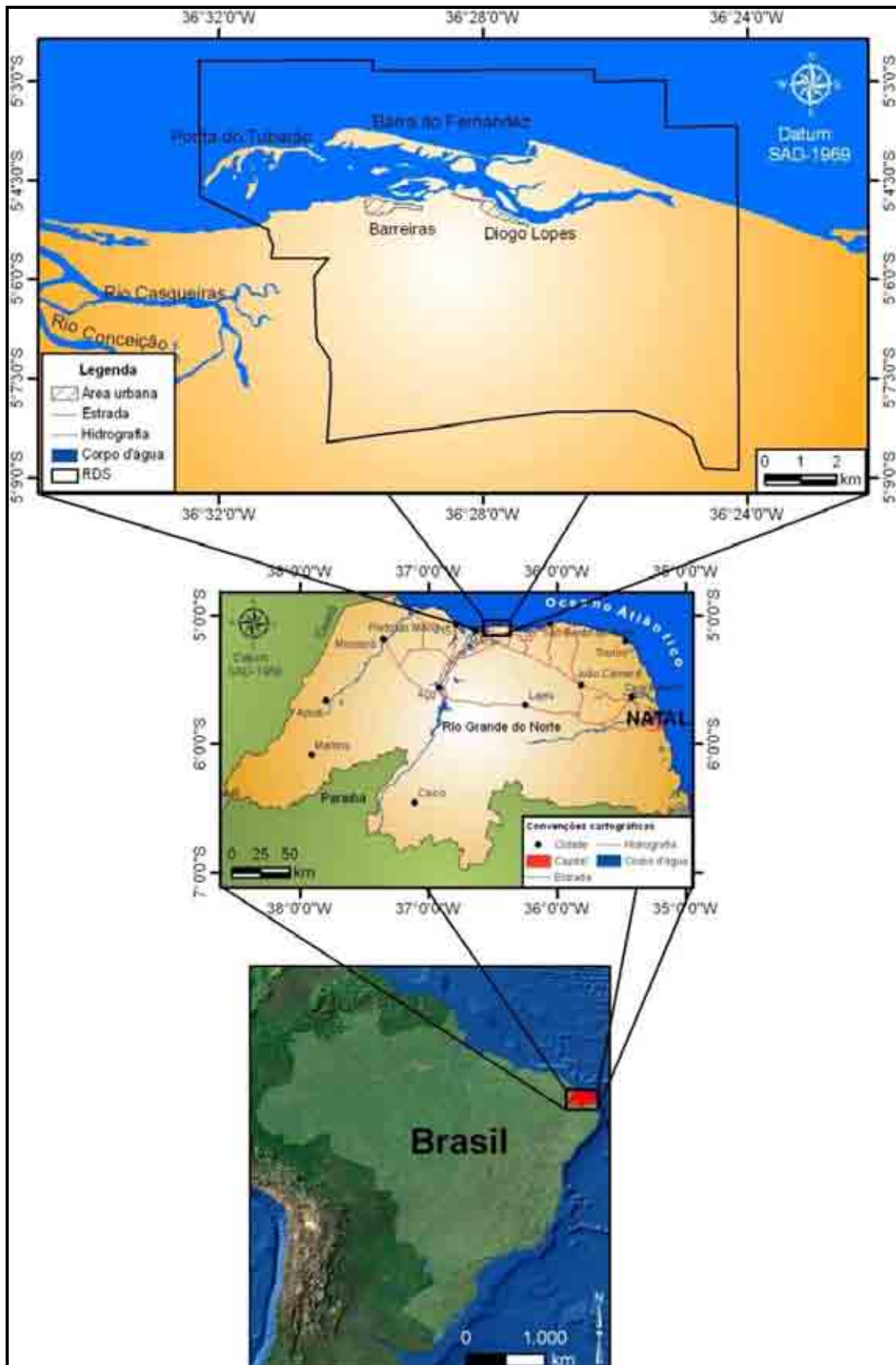
### 1.4.2 Objetivos específicos

- Avaliar e integrar imagens orbitais multiespectrais de SR ótico e de radar em caráter multitemporal (1989-2009), com vistas à caracterização das modificações geoambientais, em especial à área dos manguezais, integrando as informações em ambiente SIG;
- Por meio de imagens de sensores remotos orbitais óticos (LANDSAT 5-TM, LANDSAT 7ETM+) e de radar (RADARSAT-1) mapear as características espectrais entre vegetação de mangue e áreas não vegetadas como linha de costa e dunas móveis, contribuindo dessa forma para o monitoramento desse ecossistema, no que diz respeito às interferências antrópicas e de caráter dinâmico local;
- Conhecer o grau de conservação da cobertura vegetal do manguezal da RDSEPT visando o reconhecimento dos tipos vegetacionais, que possam contribuir para as estratégias de conservação e preservação da biodiversidade local, de bancos de matrizes e sementes, como também de uma fonte geradora de recursos;
- Por meio dos resultados do inventário e monitoramento realizado no manguezal, indicar quais espécies vegetais deverá(ão) ser(em) empregada(s) na condução do experimento de reflorestamento e nas áreas a serem vegetadas posteriormente;
- Avaliar o potencial de carbono atmosférico sequestrado pelas espécies de mangue que ocorrem no manguezal existente na RDSEPT, *Avicennia germinans* L. *Lacuncularia racemosa* (L.) Gaertn. *Rhizophora mangle* L. por meio da utilização de modelos de biomassa.

### 1.5 Localização e vias de acesso

A área em estudo, bem como a RDSEPT, situam-se na porção Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1.1), denominada de região salineira, integrante da Zona Homogênea Mossoroense, no trecho pertencente à bacia hidrográfica do Rio Açu, sendo limitada pelas coordenadas UTM 760.652 e 779.000 mE, e UTM 9.441.000 e 9.432.851 mN nos municípios de Macau e Guamaré. Ambos os municípios distam aproximadamente 185 km da capital Natal-RN, por via rodoviária. O principal acesso à região é a rodovia federais BR-

406 (Natal-Macau), como também as rodovias estaduais RN-221 (Macauzinho-Guamaré) e RN-221 que liga às localidades de Barreiros e Diogo Lopes. A área é relativamente bem servida de estradas secundárias e vicinais.



**Figura 1.1:** Mapa de localização da área de estudo. Município de Macau, Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

## 1.6 RDSEPT

Esta área é delimitada pelas coordenadas UTM ligados entre P-01 e P-13, compreendendo um território com 12.960 ha (Figura 1.2). Seu principal acesso é realizado por meio da rodovia federal BR – 406 que liga Macau a Natal (capital estadual), percorrendo uma distância de aproximadamente de 180 Km, este acesso pode ser realizado também pela rodovia estadual RN – 118 que liga Macau à Cidade de Açu.

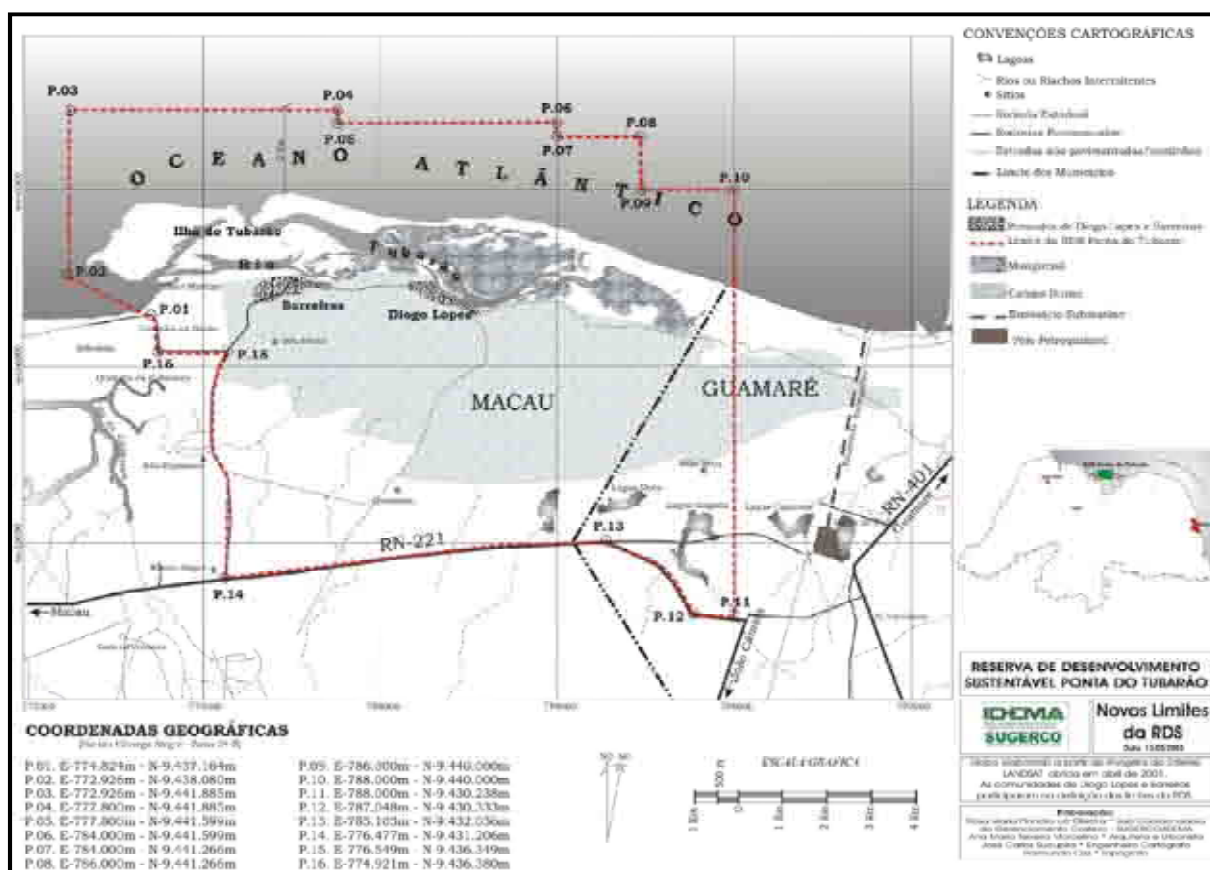


Figura 1.2: Mapa representado as coordenadas de limite da área da RDS Ponta do Tubarão.

Fonte: SUGERCO – (IDEMA, 2002).

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão (RDSEPT) foi criada pela lei nº 8.349 de julho de 2003. A RDSEPT é da categoria de Uso Sustentável, constituindo a primeira RDS do Estado do Rio Grande do Norte e segunda instituída no Brasil. Sua criação decorreu da iniciativa das comunidades tradicionais de pesca de Barreiras e Diogo Lopes, situadas no Município de Macau-RN.

A área da RDSEPT compreende um território com 12.960 ha, abrangendo áreas dos municípios de Macau e Guamaré, bem como as comunidades de Barreiras, Diogo Lopes, Sertãozinho, Mangue Seco I e II, Lagoa Doce, Cacimba da Baixa, Chico Martins, Varjota, Pau-Feito, Baixa do Grito e Canto da Imburana. Contém os ecossistemas manguezal e dunar, adjacentes ao estuário do Rio Tubarão, uma área representativa do bioma caatinga, além de

uma área marinha que se estende por 2 milhas da linha da costa. Neste ambiente, podemos verificar o contato direto entre o bioma caatinga e os campos dunares.

A criação da RDSEPT tem como objetivo preservar a natureza e, ao mesmo tempo, assegurar as condições e os meios necessários para a melhoria dos modos e da qualidade de vida das comunidades tradicionais locais, bem como valorizar, conservar e aperfeiçoar o conhecimento e as técnicas de manejo do ambiente por essas populações e o desenvolvimento sustentável, assumindo como desafio criar um modelo de gestão que possibilite proteger e conservar os ecossistemas ali existentes, bem como assegurar os anseios das populações que dela extrai o seu sustento através dos recursos naturais existentes na área.

A RDSEPT já conta com um Conselho Gestor instalado, ao qual compete a gestão da Reserva, balizada na instituição do Zoneamento Ambiental e Plano de Manejo, instrumentos que possibilitam o seu desenvolvimento sustentável.

A participação ativa das populações residentes, das instituições governamentais e não governamentais, envolvidas com esta temática no planejamento e gestão dessa Reserva, representam um fator imprescindível para o sucesso dessa iniciativa.

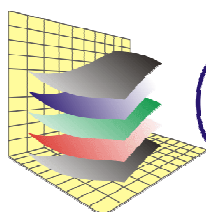


---

# CAPÍTULO II

*Fundamentação Teórica*

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

## 2.1 Aspectos fisiográficos

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em se tratando dos aspectos fisiográficos, o Brasil pode ser considerado como um País Continental, uma vez que abriga uma grande variedade de climas, vegetações, relevos, hidrografias, etc. A fim de melhor compartimentar tais territórios (IBGE, 2009) subdividiu as regiões brasileiras em meso e microrregiões, individualizadas com base em características semelhantes de clima, relevo, vegetação, etc.

A área contemplada por este trabalho situa-se na plataforma continental brasileira adjacente ao referido estado e, corresponde à Microrregião de Macau que, por sua vez, está inserida na Mesorregião Central Potiguar (IBGE, 2009).

Para esta região, localizada no extremo Nordeste Brasileiro, a importância dos elementos climáticos em consonância com outros fatores é determinante para a dinâmica local. Vale salientar que esta região costeira apresenta peculiaridade geográfica como baixa altitude, baixa latitude, relevo plano a suavemente ondulado integrado a outros processos que por sua vez possibilita a ocorrência de uma intensa dinâmica costeira (Farias, 1997) e (Silveira, 2002).

A ação constante dos processos do meio físico, das condições climáticas (*El Niña e El Niño*), das variações do nível do mar (Holoceno e Quaternário), da natureza das seqüências geológicas, das atividades neotectônicas, do suprimento de sedimentos carregados pelos rios e oceano são os fatores determinantes responsáveis pelas feições geomorfológicas geradas na área costeira. Segundo Suguiu (1988), os litorais são uma das áreas de mais intenso intercâmbio de energia e matéria do planeta.

### 2.1.1 Clima

O clima desta região é semi-árido, apresentando, de modo geral, altas temperaturas e chuvas escassas, sendo definido por duas estações: uma estação seca com período mais longo (de 7 a 8 meses) e uma estação de “inverno” com período pluvial curto nos meses de fevereiro a maio (IDEMA, 1999).

A área em estudo possui, devido à proximidade com a linha do Equador, uma temperatura elevada, com média anual de 25° C, chegando a ultrapassar os 40 °C no mês de novembro (período da estação seca), onde a insolação é uma das mais elevadas do Brasil, com

médias anuais em tomo de 2.600 horas/ano e 7,22 horas/diárias, medidas na Estação Meteorológica de Macau-RN, entre os anos de 1961 a 1990.

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

### 2.1.2 Hidrografia

A rede hidrográfica da área está inserida na porção NE da maior bacia hidrográfica que deságua no litoral Norte potiguar (a bacia hidrográfica Piranhas-Açu). Porém a área, por se tratar de estuário, é constituída apenas por canais de maré na porção Sul da ilha da Ponta do Tubarão, e pelos rios Casqueira e Conceição (de médio porte), na porção SW da área em estudo, cuja contribuição provém do continente, nos períodos chuvosos, e com vazões reduzidas, mas basicamente estão sujeitos à ação das marés, que possui, de acordo com Miranda, (1983) uma variação máxima entre a preamar e a baixa-mar de 3,3 m e a mínima de 0,9.

O regime é de mesomaré, que é caracterizado pelas marés do tipo semidiurnas, apresentam desigualdade diária, com nível de maré de quadratura da ordem de 127,79 cm e nível médio de maré alta de sizígia de 284,55 cm. Outros rios, que se encontram na porção mais central da área são intermitentes e quase sempre abastecem as lagoas ou os lençóis freáticos, não atingindo diretamente o oceano ou os rios dominados pela maré. Os riachos e córregos secundários, com direção geral N-S, que ocorrem na área de estudo, afluindo para os cursos principais, configuram-se em sua totalidade numa rede de drenagem com padrões dendríticos e paralelos. A maioria das lagoas, que se encontram na porção interdunar, correspondem à parte aflorante do lençol freático da região. (Figura 2.1)

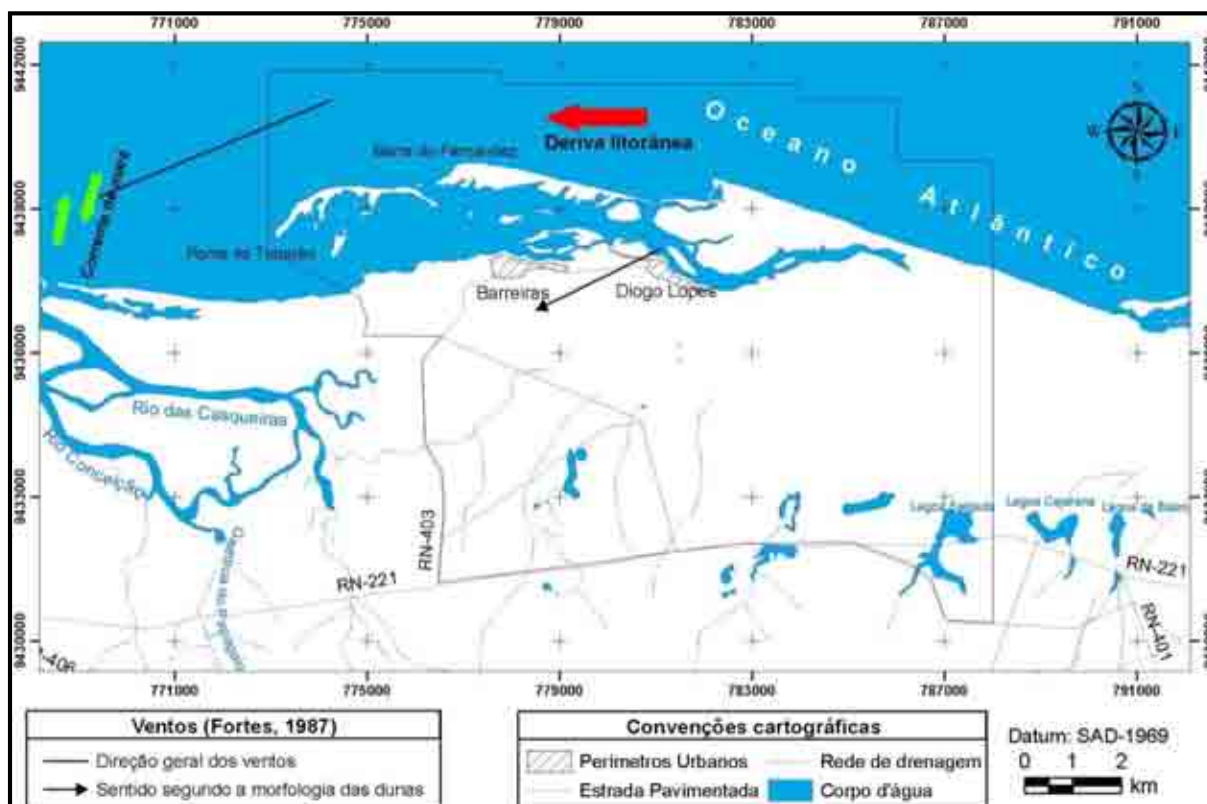


Figura 2.1: Mapa de hidrologia da área de estudo. Modificado de (Silva, 2009).

De acordo com NATRONTEC (1998), as possibilidades aquíferas estão nos sedimentos eólicos litorâneos, sedimentos estuarinos e flúvio-estuarinos, depósitos clásticos do Grupo Barreiras, rochas calcárias da Formação Jandaíra e rochas areníticas da Formação Açú. Os sedimentos estuarinos e flúvio-estuarinos não apresentam potencialidades de acumulação de água doce, sendo sua zona saturada em sub-superfície, alimentada por águas do estuário, salobras ou salgadas.

Os sedimentos eólicos formam um aquífero livre ou freático, com um potencial de acumulação restrito em virtude da pouca espessura dos depósitos arenosos. Este aquífero, entretanto, apresenta uma fonte de fácil exploração, podendo a água ser encontrada a profundidade de 0 (aflorante) ou até uma profundidade de 3 m da superfície das restingas ou da base das dunas. Em vista da presença da cunha salina sotoposta a este aquífero, seu uso é restrito, não sendo aconselhada à captação através de bombeamento, a fim de evitar o risco de salinização por intrusão de água salgada do mar ou do estuário.

Os terraços costeiros constituídos por depósitos sedimentares associados ao Grupo Barreiras constituem aquíferos livres ou confinados, com profundidade entre 3 a 15 m, e potencial de acumulação reduzido a moderado. Encontram-se dispostos geralmente sobre os calcários da Formação Jandaíra ou sobre os basaltos da Formação Macau.

O aquífero Jandaíra é recarregado essencialmente através de infiltração direta das águas acumuladas nas rochas sedimentares subjacentes e por ascensão das águas do aquífero Açú.

Os arenitos da Formação Açú constituem o mais importante aquífero da Bacia Potiguar. As rochas da Formação Açú ocorrem na região de Macau e Galinhos, com espessura variando entre 200 e 310 m, situando-se a partir de profundidades superiores a 500 m. Este aquífero vem sofrendo problemas de exploração, o que vem ocasionando um rebaixamento crítico do nível freático e piezométrico, principalmente nas regiões de Açú e Mossoró, onde é utilizado para irrigação e abastecimento urbano. Outro problema decorrente da exploração é a perda de poços artesianos devido à contaminação por petróleo.

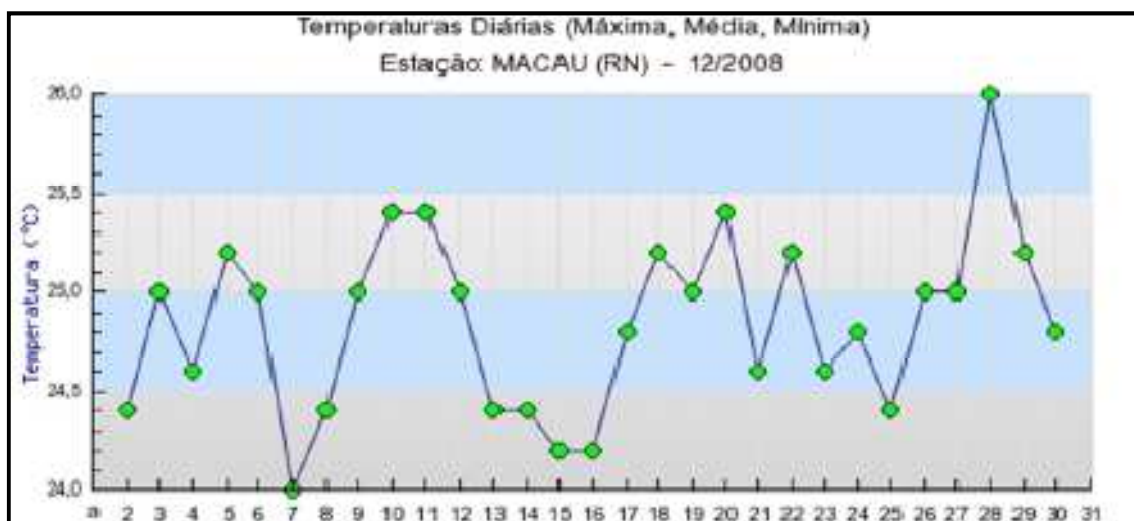
Os principais usos das águas na área de estudo são:

- Áreas de navegação nos canais de marés onde a população local se desloca entre as comunidades, bem como o transporte de sal por navios (Rio Açú);
- Área pesqueira realizada em toda a zona estuarina que abastece o mercado local de pescado;
- Recreação por contato primário, principalmente na Praia de Camapum, que apresenta excelente balneabilidade; e,
- Conservação da flora e da fauna devido à presença de grandes extensões de manguezais nos rios da região, que servem como área de abrigo, alimentação e reprodução de inúmeros representantes da flora e da fauna de transição aquática, incluindo algumas espécies de aves migratórias (maçaricos).

### 2.1.3 Temperatura

A temperatura na região da pesquisa apresenta-se elevada durante todo o ano, com uma média anual de 25° C. As médias mensais variam entre 25°C, no mês de julho, e 28,6°C, em fevereiro (figura 2.2). A pequena amplitude anual das variações térmicas é devido a fatores como a baixa latitude local, ao relevo baixo próximo ao nível do mar e a influência da massa de água oceânica.

As médias das temperaturas máximas e mínimas anuais registradas em Macau, entre 1961 a 1990, são, respectivamente, 31,1°C e 22,1°C, com máxima absoluta de 36,8°C registrada em 27/02/1975, e mínima de 17,3°C, registrada em 13/07/1968 (INMET, 1992).



**Figura 2.2:** Gráfico das temperaturas diárias (mínima, média e máxima) na área de estudo.  
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2009).

### 2.1.4 Insolação

A insolação na área em estudo é das mais elevadas do Brasil, atingindo, em média, 2.600 h/ano, o que equivale a 7,1 h diárias de luz solar incidindo sobre o solo. Esse fator, aliado à escassez de chuvas, aos ventos constantes e às altas temperaturas, faz com que a região da pesquisa seja a mais propícia no País para a produção de sal marinho.

A variação das médias mensais de insolação ao longo do ano foi de um mínimo de 6,1 h/dia em julho, a um máximo de 8,3 h/dia em novembro. A radiação solar também apresenta valores elevados, atingindo intensidade de até  $1,5\text{cal/cm}^2/\text{min}$ , como registrado em Mossoró/RN, em latitude e fisiografia bastante semelhantes às de Macau (Carmo Filho *et al.*, 1987).

### 2.1.5 Precipitação

O litoral Norte do Nordeste do Brasil tem como característica a grande incidência de raios solares, implicando assim, a disponibilidade de energia luminosa, um regime térmico análogo, temperaturas elevadas de pouca e pequenas variações, apresentando-se sem chuvas a maior parte do ano. (Figura 2.3).



**Figura 2.3** – Gráfico da precipitação pluviométrica média na região de Macau, Posto Macau-Salina, entre os anos de 1914 e 2008. Fonte: EMPARN (2008).

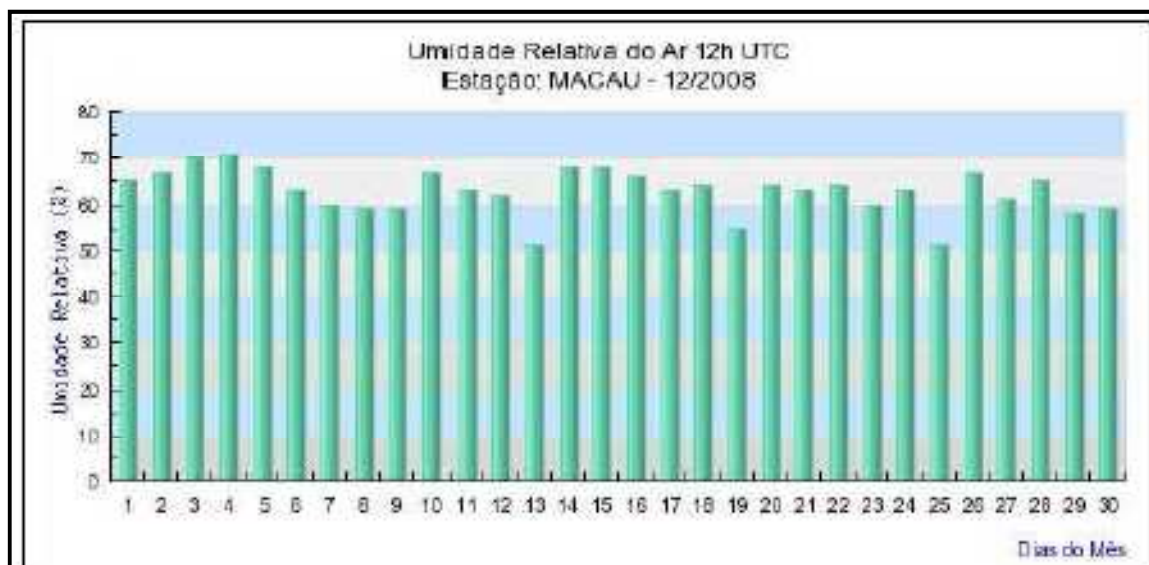
A pouca presença de chuvas e do tempo estável, deve-se à imposição do Anticiclone Sul, centro de alta pressão localizado no centro do Oceano Atlântico que, no final do verão e no outono, diminui no Norte e Nordeste do Brasil, passando a atuar os ventos alísios do hemisfério Norte da Zona de Convergência Intertropical. A intensidade desta corrente irá definir a duração e a qualidade da estação chuvosa desta região.

A área em estudo encaixa-se nestas características e seu perfil climático está relacionado à sua proximidade da linha do Equador (limite Norte com latitude de  $04^{\circ} 43'55,234''S$ ), e de baixa latitude. As análises realizadas foram elaboradas a partir dos dados coletados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha (DHN) (1993), da Estação Meteorológica de Macau e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Em média, os meses de maior precipitação são de fevereiro a maio, e os meses onde se registram uma menor precipitação na área vão de agosto a dezembro (Figura 2.3). Devido a temperaturas elevadas associadas a um curto período chuvoso, tem o clima caracterizado como Clima tropical equatorial quente, semi-árido, segundo a classificação de Nimer (1989); Clima seco, muito quente e semi-árido de estepe do tipo BSW'h e bioclima tropical quente de seca acentuada, do tipo 4ath, na classificação de Graussen.

### 2.1.6 Umidade relativa do ar

A média anual da umidade relativa do ar na região da pesquisa é de 71%, sendo os meses de março a abril os que apresentam valores maiores (média de 75-76%), coincidindo com o período chuvoso. Durante a estação seca, a umidade do ar mantém-se constante, com

valores em torno de 69%, atingindo uma média mínima de 66% em novembro (Figura 2.4) (INMET, 1992).

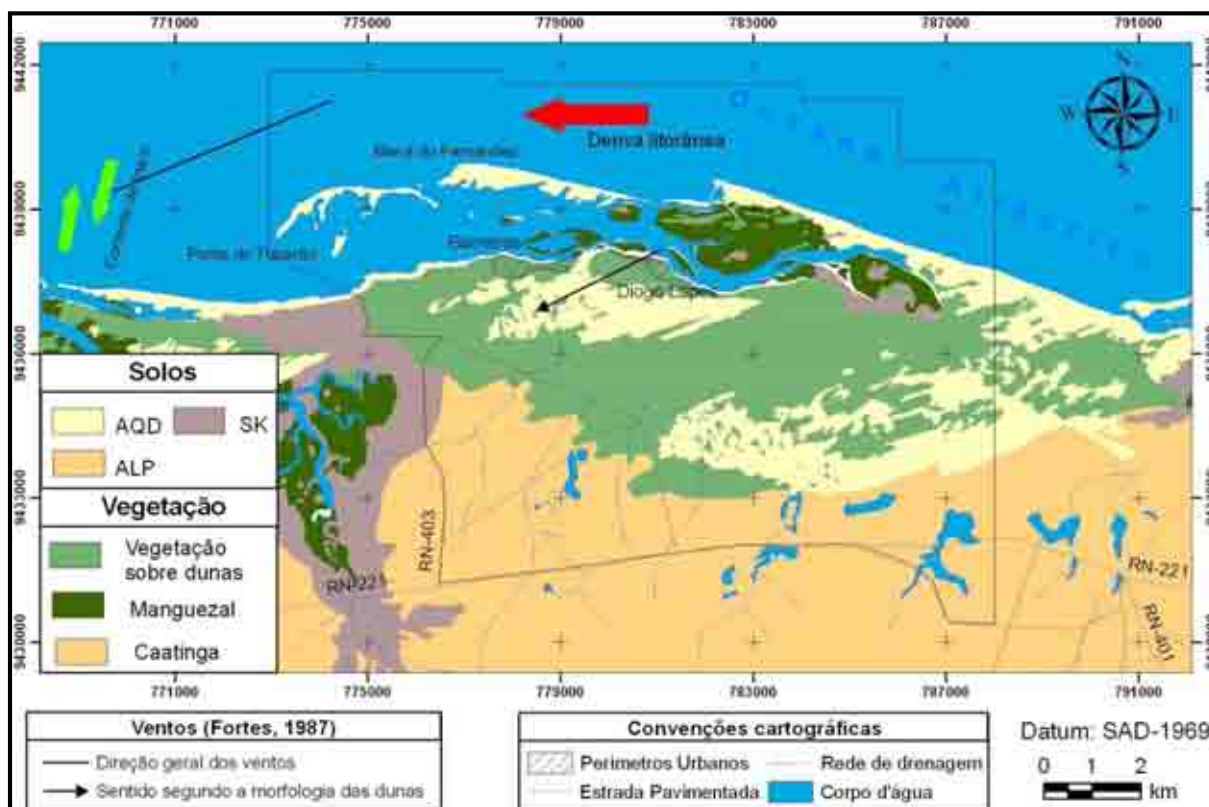


**Figura 2.4:** Gráfico representando a umidade relativa referente ao mês de Dezembro de 2008. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2009).

Pesquisa realizada no período 1980-1989 obteve que a menor umidade relativa do ar instantânea registrada entre os três horários observados, 9, 15 e 21h, foi 36%, anotada às 15:00h do dia 24/09/1988. Este valor é excepcional, uma vez que a umidade relativa do ar geralmente está acima de 50%, em função justamente da influência do mar (NATRONTEC/ECOPLAM, 1995).

### 2.1.7 Ventos

No litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, no período de setembro a abril, os ventos são predominantemente de E e NE entre os meses de abril a setembro. Os ventos de SE são importantes nos períodos de maio a agosto, acompanhando a atuação na região do Anticiclone do Atlântico Sul a partir do final do outono, marcando o término da estação chuvosa. A Zona de Convergência Intertropical, definida pela convergência dos ventos alísios dos hemisférios Norte e Sul, passa a atuar do verão ao outono. No período do verão, Alves (2001) destacou a tendência de orientação E-NE das dunas no segmento E-W da linha de costa. Já para Fortes (1987), os ventos que chegam a costa do Rio Grande do Norte são provenientes de E-SE na costa oriental e de NE na região setentrional aqui em questão. (Figura 2.5).



**Figura 2.5:** Mapa representativo das correntes marítimas e direção dos ventos na área de estudo. Modificado de Souto (2004) e Silva (2009).

A velocidade dos ventos no período de 1961 a 1990, medida na Estação Meteorológica de Macau, instalado a uma altura de 10 m, é maior durante o verão, com máximo de 8,5 m/s para o mês de outubro, e menor durante o inverno, com mínimo de 0,7 m/s para o mês de abril.

Sendo assim, os ventos nesta região tornam-se um dos principais responsáveis pela dinâmica costeira da área de estudo. A orientação dos campos de dunas retrata a direção predominante dos ventos na região costeira. Na costa do Nordeste do Brasil, é bem visível a influência dos ventos alísios provenientes de NE, e como exemplo na área de estudos destaca-se o campo de dunas móveis de Diogo Lopes.

### 2.1.8 Marés

As marés são movimentos cíclicos de subida e descida do nível do mar causada pelo efeito combinado das forças gravitacionais exercidas pela Lua e pelo Sol sobre os oceanos (The Open University, 1989). Quando a Lua, o Sol e a Terra encontram-se alinhados, ocorrem as marés de sizígia. Esse efeito ocorre duas vezes durante o mês, na Lua nova e na Lua cheia,

proporcionando as maiores amplitudes de maré. Quanto ao seu regime, às marés podem ser classificadas em diurnas, semidiurnas e marés mistas (Thurman, 1997).

- **Maré diurna** - A maré diurna tem apenas uma maré alta e uma maré baixa a cada dia lunar;
- **Maré Semidiurna** - Estas realizam duas preamares (PM) e duas baixamares (BM) em um dia lunar;
- **Maré Mista** - correspondem a situações com algumas características de marés semidiurnas e outras de marés diurnas. Muitas vezes, há duas marés altas e duas marés baixas em cada dia lunar, mas as duas marés sucessivas têm alturas significativamente diferentes.

Estudos realizados pela DHN (1974), e confirmados por Riedel (2000) e por Tabosa (2000), classificam as marés da região como mesomaré e com regime tipicamente semidiurna, apresentando amplitudes máximas em torno de 2,8 m.

### 2.1.9 Ondas

Para Araújo (2006), a dinâmica costeira de uma região está diretamente relacionada aos processos de natureza física, química e biológica, que exercem grande influência na modelagem costeira, seja de forma construtiva (deposição) ou destrutiva (erosão). As ondas constituem um dos processos marinhos mais efetivos no selecionamento e redistribuição dos sedimentos depositados na região costeira.

As ondas nos oceanos são originadas pela ação dos ventos que, ao soprarem sobre a superfície da água formam pequenas ondas capilares até ondas maiores, cujo tamanho é limitada pela velocidade e duração do vento e pista de atuação (The Open University, 1989). Os principais parâmetros de uma onda são o comprimento de onda (L) correspondente à distância entre duas cavas sucessivas; 2) a altura (H), representada pela distância entre a cava e a crista da onda e; 3) a amplitude (a), que corresponde à metade da altura da onda.

Ao se aproximarem da zona costeira, o fluxo das ondas apresenta a mesma direção dos ventos dominantes (NE-E). De acordo com Chaves e Vital (2001), que realizaram um trabalho de monitoramento com medidas dos parâmetros do meio físico, a altura das ondas variou entre 0,125 a 0,722 m, com máximas e mínimas nos meses de novembro e maio, respectivamente. Apresentam uma média do ângulo de incidência das ondas de 305° em relação à linha de costa (no período de novembro de 2000 a junho de 2001).

Quando as ondas se aproximam obliquamente da linha de costa os sedimentos têm uma trajetória em zigue-zague, gerado pelo movimento de vai e volta, fluxo e refluxo das ondas, gerando as correntes de deriva litorânea. Essas correntes movimentam enormes quantidades de sedimentos que são transportados ao longo do litoral, sendo o transporte de sedimentos paralelos à linha de costa (figura 2.5), obedecendo aos principais parâmetros de um perfil vertical ideal de onda. (The Open University, 1989). Tabosa (2002) efetuou medidas de altura de onda significativa na área de estudo, cujos valores ficaram em torno de 0,5 m, com período médio de 1,2 s. A partir de fundeios com a bóia S4, Mantovanelli e Amaro (2007) encontraram valores médios de altura significativa (SH) de 0,44 m e altura máxima de 0,99 m para o mês de agosto de 2006. Em maio de 2007, observou-se uma (SH) média de 0,52 m e máxima de 0,85 m.

### 2.1.10 Correntes

Na plataforma externa do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, a Corrente Norte do Brasil, um ramo da Corrente Equatorial Sul, alcança velocidades superiores a 2,3 m/s para W (Silva, 1991). As correntes marinhas formam-se em resposta à ação combinada entre a orientação preferencial EW da linha de costa, a direção preferencial E-SE dos ventos e ao fluxo de ondas provenientes de NE-E, acarretando uma importante corrente de deriva litorânea (*longshore drift*) na direção oeste. Alguns trabalhos sugerem (Lima *et al.*, 2001; Silveira, 2002; Souto, 2002; Alves *et al.*, 2003) que a direção predominante desta corrente é caracterizada pela orientação EW com migração para W dos pontais arenosos costeiros (*spits*) e canais de maré (*inlets*). As correntes superficiais na região em questão apresentam velocidades máximas de 1,103 m/s e mínimas de 0,171 m/s para W, nos meses de novembro e maio, respectivamente (Chaves e Vital, 2001). Variando com um ângulo de incidência do *trend* de ondas, em relação à linha de costa, numa média de 0,637 m/s.

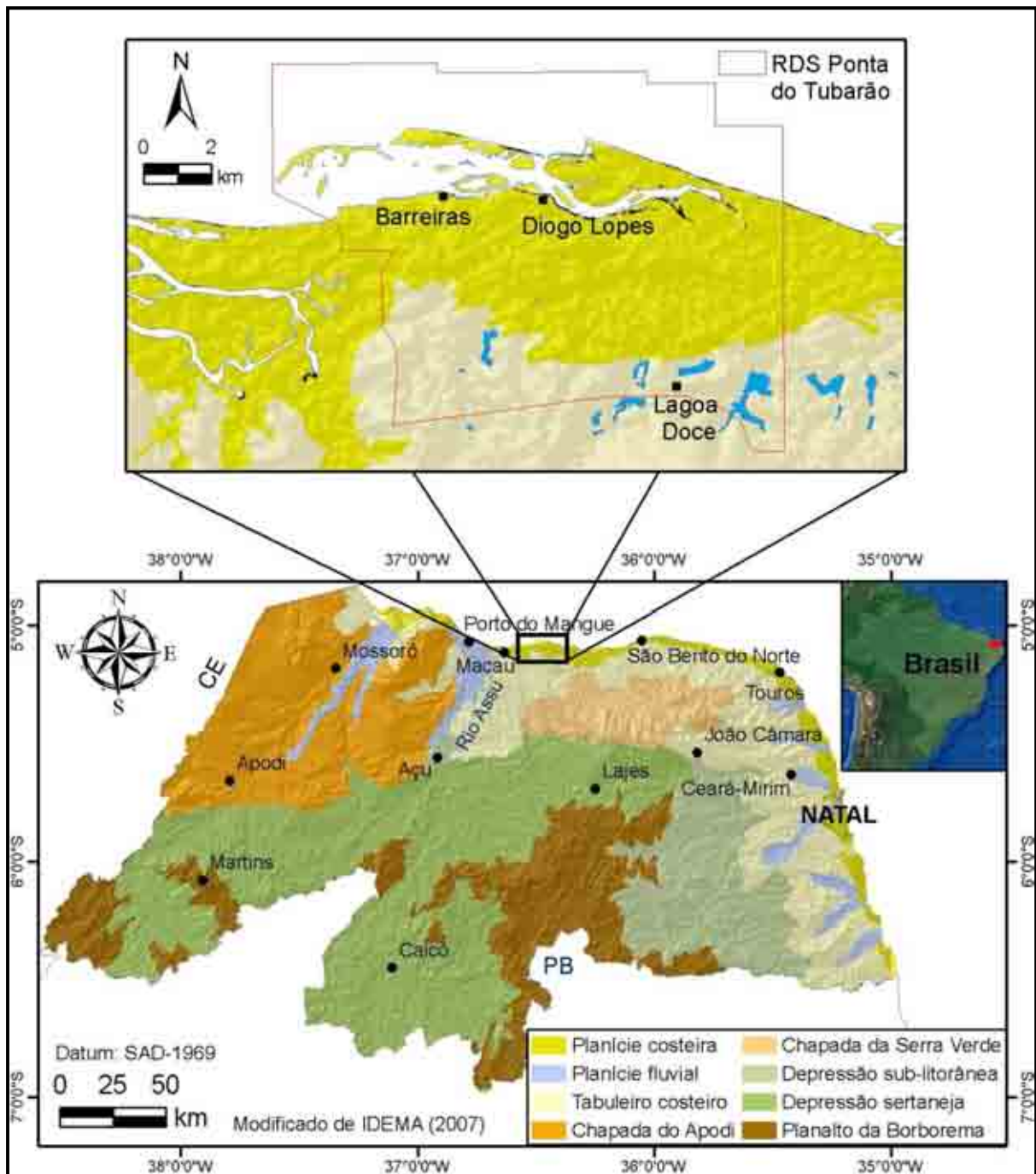
As correntes litorâneas transportam sedimento que foram postos em suspensão pela ação do retrabalhamento das ondas ao longo de grandes trechos do litoral. Na região costeira, observam-se alguns tipos principais de correntes de maré: são geradas pelos movimentos horizontais de água associados à propagação da onda de maré.

As correntes de retorno são originadas pelo refluxo do volume de água que retorna da costa de volta para o mar, em virtude da força gravitacional. Também é conhecida como maré de retorno ou *rip current* (figura 2.5).

### **2.1.11 Relevo**

A compartimentação geomorfológica da área é dividida em planícies costeiras, tabuleiros costeiros, terraços fluvio-marinhos, planície estuarina, vertentes, restinga e campos de dunas recentes (NATRONTEC, 1998).

Para Lima (1993), a região em questão compreende a planície costeira e nas superfícies aplainadas, que são constituídas pelos campos de dunas sobrepostas aos tabuleiros costeiros, as planícies marinhas e fluvio-marinhas quaternária. Possuem um relevo predominantemente plano com suaves ondulações, apresentando cotas altimétricas mínimas de 4 m (possuindo valores inferiores a 1 m por se tratar de uma região costeira) e máximas de 20 a 30 m, na porção Sul da área, compreendendo inclusive os campos de dunas (SUDENE, 1969) (figura 2.6). O modelamento geomorfológico da zona costeira é resultante da evolução geológica (regressões e transgressões marinhas) interagindo com a ação dinâmica da natureza (clima, ventos, marés, ondas e correntes marinhas) e com a ação antrópica (Farias, 1997).



**Figura 2.6:** Modelo digital do terreno integrado com dados batimétricos. (exagero de 50x), destacando o paleocanal do Rio Piranhas-Açu, a quebra da plataforma e os principais compartimentos geomorfológicos. Em destaque, a área de trabalho. Modificado de Silva (2007).

### 2.1.12 Solo

A área em estudo apresenta, de modo geral, quatro tipos de solos (SUDENE, 1971; BRASIL, 1981; IDEMA, 1999; Souto, 2004) (figura 2.7). Suas formações e associações estão relacionadas intimamente ao tipo de rocha, clima, relevo e vegetação (Costa Neto, 1985).

Esses quatro tipos se resumem em: Areias Quartzosas Distróficas, com fertilidade baixa, textura arenosa, excessivamente drenada e relevo plano; Solonchak Solonézico, com

alta salinidade, textura indiscriminada, imperfeitamente mal drenada, com relevo plano; Solonetz Solodizado, com textura indiscriminada, pouco drenada e de relevo plano; e Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, com fertilidade média e alta, textura média fortemente drenada e relevo plano.

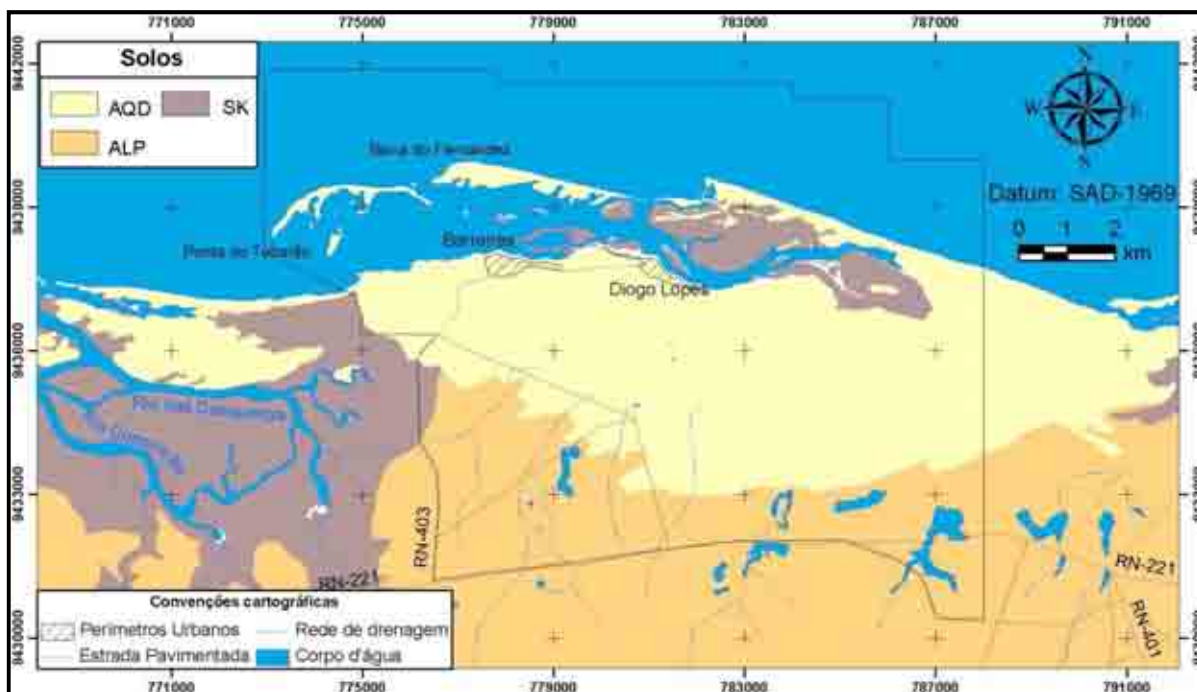


Figura 2.7: Mapa de solos da área de estudo. Modificado de Souto (2004).

### Areias Quartzosas Distróficas (AQP)

Correspondem aos solos oriundos dos sedimentos marinhos não consolidados de textura arenosa (quartzo), depositados pela ação dos ventos e ondas, e concentrando-se próximo à costa (SUDENE, 1971). Compreendem as dunas fixas, recobertas por vegetação que são nutridas pelo sistema de retro-alimentação, de horizonte muito pouco desenvolvido, e as dunas móveis, sem desenvolvimento de horizontes. Nas dunas fixas a vegetação é arbustiva ou arbóreo-arbustiva definidas em moitas densas e esparsas, normalmente associadas a cajueiros e tipos baixos e rasteiros. Os campos de dunas móveis são desprovidos de vegetação que, quando ocorrem nas depressões interdunares, correspondem a gramíneas e halófilas. Situam-se num relevo plano a suavemente ondulado, bem drenados, de raso a profundo e com baixa fertilidade.

**Associação de Solos 1 (ALP)**

O tipo **ALP** é composto pela associação de três diferentes tipos de solos caracterizados a seguir:

- **Areias Quartzosas Distróficas fase caatinga hiperxerófila relevo plano:** solos derivados de sedimentos areno-quartzosos do Grupo Barreiras, apresentando cobertura vegetal de caatinga hiperxerófila arbustiva ou arbórea-arbustiva densa ou pouco densa, destacando-se as seguintes espécies: angico, jurema, marmeleiro, mufumbo e facheiro. São constituídos por areias quartzosas, cascalhos e concreções ferruginosas (goetita);
- **Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico textura média intermediária para Podzólico > Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico fase caatinga hiperxerófila relevo plano:** solos desenvolvidos a partir de sedimentos arenosos e areno-argilosos do Grupo Barreiras, com cobertura vegetal de caatinga hiperxerófila arbustiva densa. Constituídos por areias e cascalhos quartzosos, geralmente com aderência argilo-ferruginosa; os solos da região em geral são caracterizados por alta salinidade, constituídos por lamelas escuras, ricos em matéria orgânica;
- **Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico latossólico textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano:** solos predominantemente arenosos originados a partir do Grupo Barreiras, com provável influência de calcário do Cretáceo. Possui vegetação composta por caatinga hiperxerófila densa com abundância de jurema e marmeleiro. É constituída principalmente por areias e cascalhos quartzosos.

**Associação de Solos 2 (SK)**

O tipo **SK** é composto pela associação de dois diferentes tipos de solos caracterizados a seguir:

- **Solonchak Solonético:** é caracterizado pela alta salinidade, apresentando crostas superficiais de cristais de sal durante o período de estiagem. Situando-se em planícies de inundação (várzeas), sendo influenciado pelas águas estuarinas de supramaré. Sua textura é indiscriminada, imperfeitamente mal drenado e a vegetação chega a ser ausente em grande parte na área devido à alta salinidade. A origem desses solos provém de sedimentos holocênicos argilosos a arenosos não consolidados. Associa-se a uma cobertura vegetal representada pelas formações halófilas, ocorrendo amplas extensões desprovidas de vegetação devido à salinidade, denominadas de “deserto salino”. As espécies presentes são esparsas com a presença constante do perrexiu ou

pirixiu e brêdo e, nos níveis mais elevados, são comuns as camaubeiras, juncos e quebra-panelas; são de alta salinidade, com textura indiscriminada, baixa rede de drenagem, relevo plano.

- **Soloneiz Solodizado:** ocorre em relevo plano a suavemente ondulado nos terraços fluvio-estuarinos. Possui textura indiscriminada, pouco permeável, pouco drenável, estando sujeito à erosão hídrica, tais como laminar e em sulco.

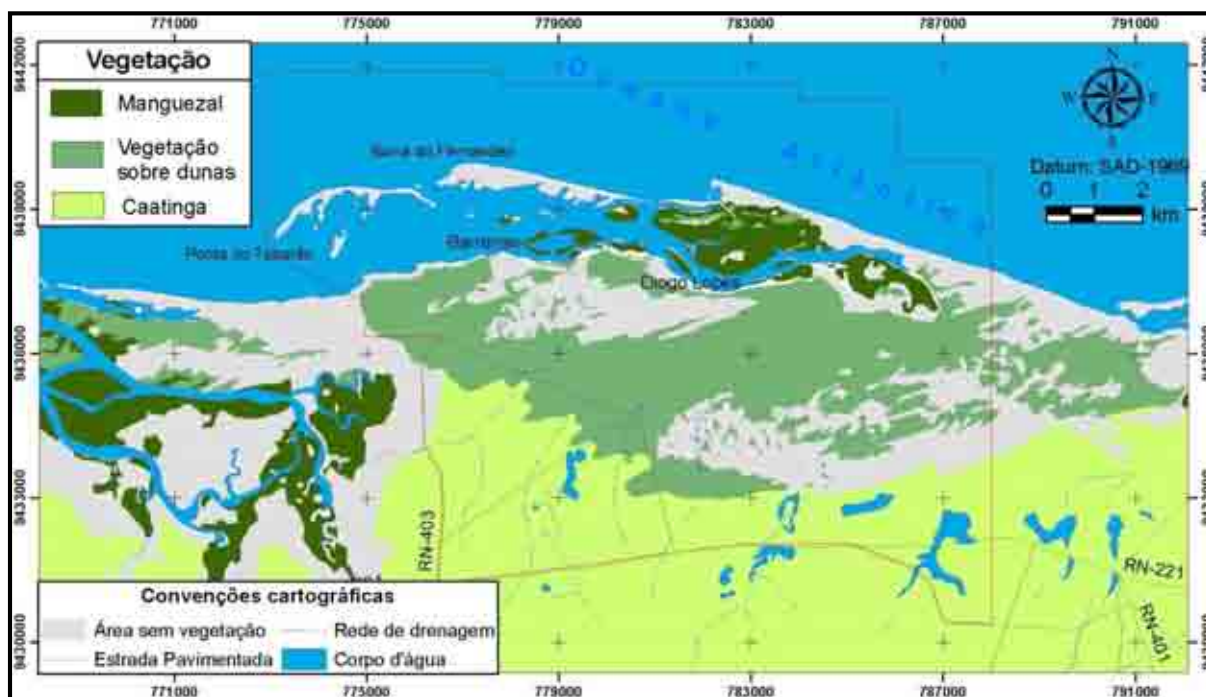
### Vermelho Amarelo Eutrófico (LVE)

São solos que mostram altos valores para relação textural e relação silte/argila (SUDENE, 1971). Situam-se num relevo plano a suavemente ondulado da superfície de aplainamento, com vegetação dominante de caatinga. Sua textura é média, bem a fortemente drenado, espessos e porosos, desenvolvidos a partir das seqüências arenosas e areno-argilosas das formações Barreiras e Tibau. Sua fertilidade é de média a alta, permitindo o cultivo durante os períodos chuvosos, além de pecuária extensiva de pequeno porte na região.

### 2.1.13 Vegetação

A área em estudo, de acordo com IBAMA (1992), está representada basicamente por dois tipos principais de vegetação, definidos como vegetação litorânea e vegetação de caatinga.(figura 2.8).

A vegetação litorânea ocupa boa parte da porção Norte da área, que sofre influência marinha (água do mar, ventos, salinidade, temperatura, etc.). Incluem os seguintes tipos de vegetação de manguezal, de dunas fixas e de restinga. Os manguezais são encontrados nos trechos do litoral, em áreas protegidas, ligadas indiretamente pelo mar, como também no interior de lagunas e/ou ao longo dos cursos dos canais. A vegetação das dunas fixas é halófila, isto é constituída por plantas que toleram viver em solo com alta concentração de sais, geralmente espécies herbáceas e rasteiras.



**Figura 2.8:** Mapa de vegetação da área de estudo. Modificado de Souto (2004).

A vegetação de caatinga que caracteriza regiões semi-áridas, envolve aquelas classificadas como arbustiva-arbórea, arbustiva-arbórea fechada e arbórea fechada. Corresponde à vegetação que ocupa a porção Sul da área, a qual é constituída por árvores e arbustos espinhosos, classificada nos tipos caatinga arbustiva-arbórea aberta, caatinga arbustiva-arbórea fechada e caatinga arbórea aberta que, durante a seca, apresentam-se quase totalmente desfolhadas, caracterizando a região semi-árida. A caatinga arbustivo-arbórea aberta é definida com base no porte médio das espécies, que pode alcançar até 3 m de altura, baixa frequência de áreas de bosque, ocorrência em locais onde os solos são rasos, pedregosos e com afloramentos rochosos. O tipo caatinga arbustivo-arbórea fechada apresenta porte médio entre 3 a 4 m de altura, com alto grau de cobertura do solo. A caatinga do tipo arbórea fechada possui porte de 4 a 5 m de altura, com árvores em concentrações significativas, alto grau de cobertura do solo e presença de bosque.

### 2.1.13.1 Cobertura vegetal das áreas estudadas

### 2.1.13.2 Área das formações pioneiras com influência marinha

- Dunas fixas

Segundo Fernandes (1998), a vegetação que reveste este espaço, levando em conta os distintos aspectos fitogeográficos, tem expressão fisionômica e composição florística bem diversificada. Tem origem no Quaternário, é um processo de sedimentação atual, ocorrido na última regressão marinha. Esta vegetação ocupa uma faixa de solo arenoso em contato com o mar. Recebendo influência direta do mar e de sua salinidade, constitui-se, basicamente de plantas halófitas (Almeida e Araújo, 1997).

Tal ambiente apresenta declividade baixa, de superfície plana ou levemente ondulada, ou seja, pequenas dunas, recobertas por uma vegetação subperenifólia pioneira de espécies halo-psamófilas de formação herbácea.

A fisionomia é marcada pela presença de plantas que se caracterizam pelo desenvolvimento de estruturas adaptativas a ambientes inóspitos, de vegetação rala, onde podemos destacar “brejo da praia” *Sesuvium portulacastrum* L., *Blutaparon portulacoides* L., além de *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br., *Canavalia obtusifolia* DC., *Heliotropium lanceolatum* Ruiz. & Pav. Essas plantas apresentam características especiais, estoloníferas ou rizomatosas, capazes de formar um sistema radicular extenso, mas de crescer para cima e para os lados através de depósitos recentes de areia, elevando-se de acordo com as necessidades. São tolerantes a exposição contínua aos fortes ventos e intensa salinidade.

A vegetação pioneira marinha herbácea a arbustiva contribui para a sua fixação, impedindo que a areia seja transportada pelo vento (Figura 2.9 indicadores [B] e [D]).

A formação vegetal encontrada é do tipo subperenifólia de dunas que varia de acordo com altura da duna e sua posição esta relacionada com a posição dos ventos e a insolação.

Quanto à fisionomia, nas encostas a barlavento observa-se o estrato predominantemente herbáceo evidenciando uma incidência elevada de *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br. *Heliotropium* sp e a sotavento, a predominância do estrato arbustivo-arbóreo bem desenvolvido. A espécie de maior densidade populacional é *Pavonia cancelata* L. Cav., seguida de *Jatropha molissima*, *Croton sonderianus* Muell. Arg., *Caesalpinia pyramidalis* Tul., além de gramíneas e ciperáceas como estrato herbáceo.

Esta formação apresenta atributos paisagísticos contemplativos e de grande vulnerabilidade, com potencialidades para o turismo planejado, tal como pesquisas científicas mais direcionadas a este tipo de vegetação.

- **Savana estépica arborizada**

Compreende uma vegetação de formação arbustivo-arbóreo, constituída de espécies lenhosas assumindo uma composição florística típica, tanto pela fisionomia quanto florística

de caatinga. Os tabuleiros costeiros estão recobertos pela formação savana estépica arborizada, que se constitui por apresentar características fitofisionômicas bastante heterogênea, de pequenas árvores, esparsas, destacando-se as espécies quixabeira (*Bumelia sartorum* Mart.) (Figura 2.9 indicador [F]), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.) e carnaubeira (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. Moore). Os indivíduos chegam até 4m altura média, com baixa frequência de áreas de bosque, com grossos troncos e cascas espessas, e um intenso esgalhamento ramificado, geralmente providos de espinhos; são decíduas na época desfavorável. À medida que as espécies se aproximam da praia, diminuem o porte. É considerado um ambiente estável.

Na estreita faixa que acompanha paralelamente a linha de costa, nos setores interiorizados as dunas móveis, apresenta-se colonizadas pela vegetação pioneira halopsamófila, as espécies que ali se encontram é de formação herbácea. Ainda nos limites do litoral, verifica-se uma extensa área de superfície plana, conservada, recoberta por um estrato arbustivo estacional espinhoso (Figura 2.9 indicador [F]). Na região interiorizada é encontrada a carnaubeira (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. Moore) ocorrendo em densas populações em áreas encharcadas (várzeas) ou em associações com outras espécies.

- **Caatinga**

A caatinga apresenta-se como uma mistura complexa de fisionomias, distintas em quatro tipos: savana-estépica florestada, savana estépica arborizada, savana estépica parque e savana-estépica gramíneo-lenhosa.

O estrato arbustivo é abundante, formando clareiras, sendo que o estrato herbáceo possui numerosas espécies semi-lenhosas.

O domínio das caatingas corresponde à formação xérica predominante no interior semi-árido e que no Estado do Rio Grande do Norte se aproxima do Litoral Conforme (Sampaio *et al.* 1996) as dificuldades encontradas na classificação das caatingas, são de enquadrá-las em um único tipo fisionômico, em função de diversos fatores locais associados ao clima, relevo, geologia e geomorfologia.

Dentre as espécies mais representativas incluem-se: “catingueira” (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), “algaroba” (*Prosopis juliflora* (SW) D. C), “jurema preta” (*Mimosa acutistipula* Benth.), “quixabeira” (*Bumelia sartorum* Mart.), espécie dominante neste ambiente, “velame” (*Croton* sp), “marmeleiro” (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), “mufumbo” (*Combretum leprosum* Mart.), “olho de boi” (*Pavonia cancelata*), “joazeiro”

(*Ziziphus joazeiro* Mart.), *Calotropis procera* Ait., “favela” *Cnidoscopus phyllacanthus* (Muell. Arg.) Pax et K. Hoffman, entremeadas por algumas cactáceas como o “facheiro” (*Pilosocereus* sp), “mandacaru” (*Cereus jamacaru* DC.) e “palma” (*Opuntia* sp), esta última margeando cercas, além de um denso estrato herbáceo de espécies espinhosas.

Em áreas onde a vegetação é densa, apresenta-se como destaque a “catingueira” (*Caesalpinia pyramidalis* Tul), arvoreta com cerca de 3m de altura, de flores amarelas dispostas em racemos, formando verdadeiros bosques próximos às dunas móveis. Essa proximidade se deve a remobilização eólica.

- **Planícies interdunares**

As planícies interdunares da RDSEPT são formadas pela intensa deflação e depressões com lagoas interdunares. Uma das características dos campos dunares é o seu potencial de armazenar água, formando lagoas intermitentes nas depressões entre as dunas. Na RDSEPT Ponta do Tubarão encontram-se lagoas em diferentes dimensões. A lagoa da Varjota é a mais expressiva pelo seu tamanho. A drenagem superficial é abundante, onde se verifica pequenos e grandes cursos, de caráter intermitente, localizados em áreas mais baixas dos relevos naturais. A vegetação que ali se desenvolvem constitui-se de espécies herbáceas como *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br., *Blutaparon portulacaloides* L. (Amaranthaceae), *Richardia grandiflora* (Rubiaceae), *Borreria verticillata* (L.) G. Mey (Rubiaceae), *Amaranthus* sp (Amaranthaceae), *Borreria* sp (Rubiaceae), *Turnera ulmifolia* L. (Turneraceae), além de espécies arbóreas como a algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC.) e jurema preta (*Mimosa acustistipula*).

### **2.1.13.3 Áreas das formações pioneiras com influência fluvio-marinha**

#### **2.1.13.4 Caracterização florística e fisionômica do manguezal da RDSEPT.**

Esse ambiente halófito da zona entremarés, a cobertura vegetal caracteriza-se por espécies arbóreas que lhe conferem a feição mangue. Tal cobertura está exposta a lavagens diárias pelas marés (Schaeffer-Novelli, 2002).

O manguezal ocupa a zona de intermaré com altitude até 2,5m e declividade baixa, com substrato composto por argilas orgânicas e sedimento areno-siltosos com intensa bioturbação. Localizado na porção norte da RDSEPT, abrange cerca de 536,23 ha (IDEMA,

2005). São extensas áreas que se localizam adjacentes às áreas estuarinas do rio Tubarão. O porte da vegetação situa-se a 3 a 6m de altura.

Caracteriza-se em seus aspectos naturais, pela presença de uma mancha de vegetação herbácea (Figura 2.9 indicador [F]) tipicamente halófito podendo ser observadas espécies como *Blutaparon portulacoides* L. (Amaranthaceae), *Sesuvium portulacastrum* L. (Aizoaceae) e gramíneas como *Eleocharis* sp, *Sporobolus* sp.

A flora é composta basicamente por mangue sapateiro ou vermelho (*Rhizophora mangle* L.) (Figura 4.8), mangue branco ou manso (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn.) (Figura 4.19), mangue canoé ou preto (*Avicenia germinans* L.) (Figura 4.14). Os manguezais geralmente se situam nos pontos da costa aonde as águas das marés chegam com menos energia, depositando o particulado fino que trazem em suspensão e formando o substrato necessário ao seu desenvolvimento (Macedo, 1995).

A não presença na área de pesquisa da comum espécie *Conocarpus erectus* L. popularmente chamada de mangue botão ou ratinho em relação a outros manguezais do Estado do Rio Grande do Norte está justificada pelo fato de que todo o estuário da RDS Ponta do Tubarão tratar-se de estuário tipo Inferior, ou seja, aqueles que possuem alta salinidade, pois refere-se a zona que possui ligação com o mar aberto e Médio possuindo uma salinidade média onde ocorre a mistura da água doce com a salgada, logo a espécie *Conocarpus erectus* L. não tolera tais salinidades, sendo encontradas apenas em estuários Superior, caracterizado pela existência apenas de água doce, mas ainda sujeita a ação das marés (FATRBRIDGE, 1980) este por sua vez não ocorre na área de pesquisa, porém muito comum em todo litoral do RN.

#### 2.1.13.5 Caracterização florística das áreas estudadas

O conjunto florístico das áreas em estudo é bastante rico e diversificado. Incluindo as áreas de praia, mangue e savana estépica, as famílias com maior riqueza de espécies foram: Euphorbiaceae, Fabaceae, Malvaceae,

A espécie *Bumelia sartorum* se destaca de forma expressiva como espécie arbórea ocorrente frequentemente na savana estépica, com seus ramos armados, espinhos agudos, rígidos. É uma planta da flora brasileira, comum na caatinga, se desenvolvendo em diferentes tipos de solos, inclusive rochosos. Esta espécie encontra-se seriamente ameaçada de extinção, principalmente pelo extrativismo da casca para comercialização. Merece ainda destaque nesse ambiente a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.) uma arvoreta de até 3 m de altura. De

flores amarelas, sua madeira é usada para lenha, carvão e estacas. É uma das plantas sertanejas cujas gemas brotam as primeiras chuvas. Suas folhas, flores e a casca são usadas na medicina popular no tratamento das infecções catarrais e nas diarreias e disenterias. É uma planta característica da caatinga.

A família Mimosaceae está bem representada pelas espécies *Mimosa acutistipula* Benth a “jurema preta”, árvore que se distribui por toda a savana, de acúleos esparsos. Suas folhas e frutos são forrageiros para bovinos e caprinos. As estacas servem para lenha e na fabricação de carvão de alto valor energético. *Prosopis juliflora* (SW) DC “algaroba” representante arbóreo de até 4m de altura, de caules finos e folhas compostas, fazem parte da paisagem da savana estépica, servindo forragem para a pecuária.

Famílias com papel importante nessa composição, presentes em bordas de mata ou áreas abertas, destacam-se: Malvaceae, Verbenaceae, Mimosaceae e Rubiaceae.

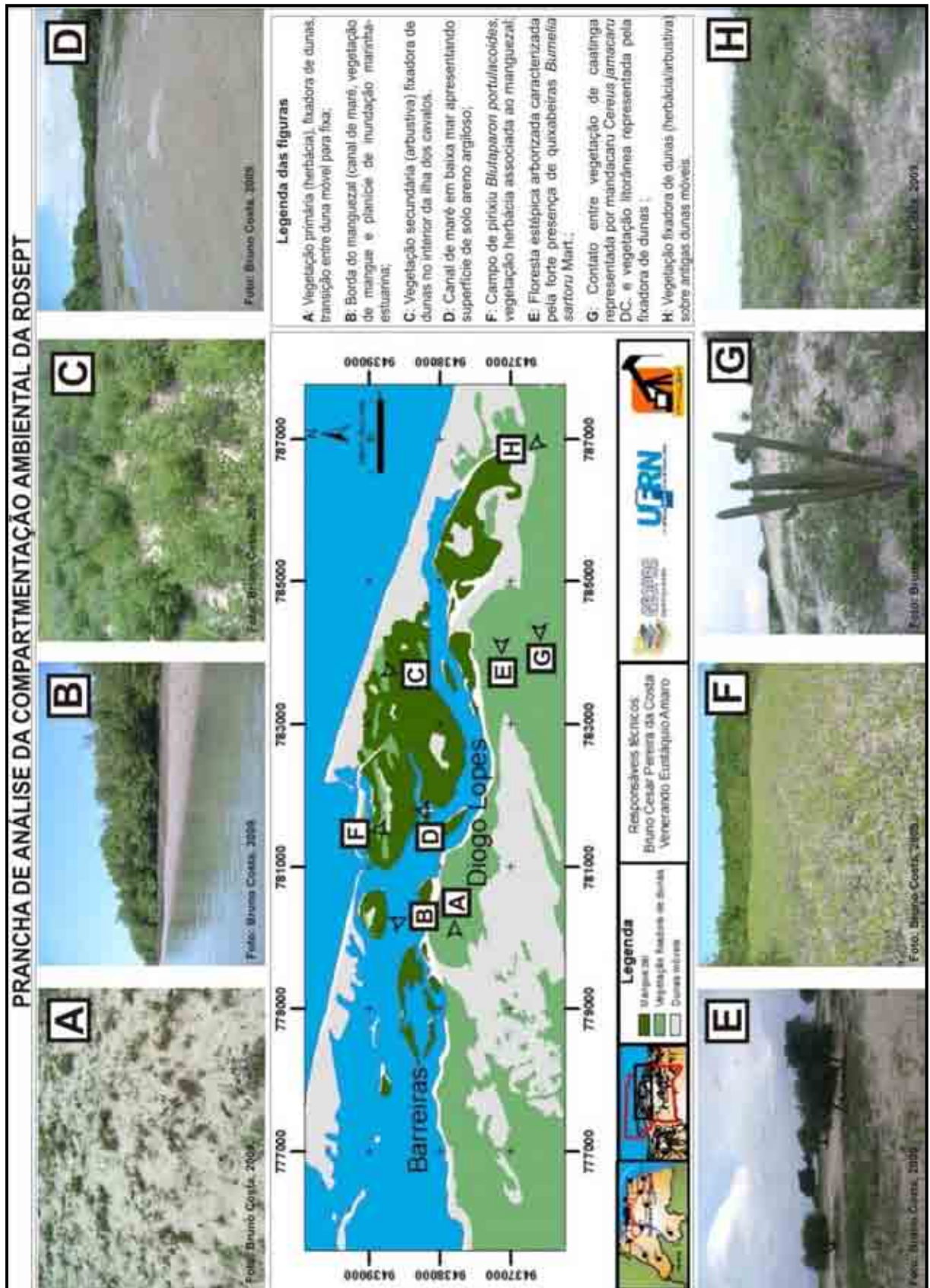


Figura anexos 2.9: Mapa de compartimentação ambiental ligada ao manguezal da RDSEPT.

### 2.1.14 Aspectos Socioeconômicos

O Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma economia em expansão nas últimas décadas, apresentando números surpreendentes com relação ao crescimento do Nordeste brasileiro (SEPLAN, 1997). Esse impulso econômico se deve principalmente às atividades econômicas localizadas no litoral setentrional do Estado, destacando-se a produção do sal marinho, extração de petróleo, fruticultura, carcinicultura, pesca artesanal e comércio local. Atividades representadas na (figura 2.10).



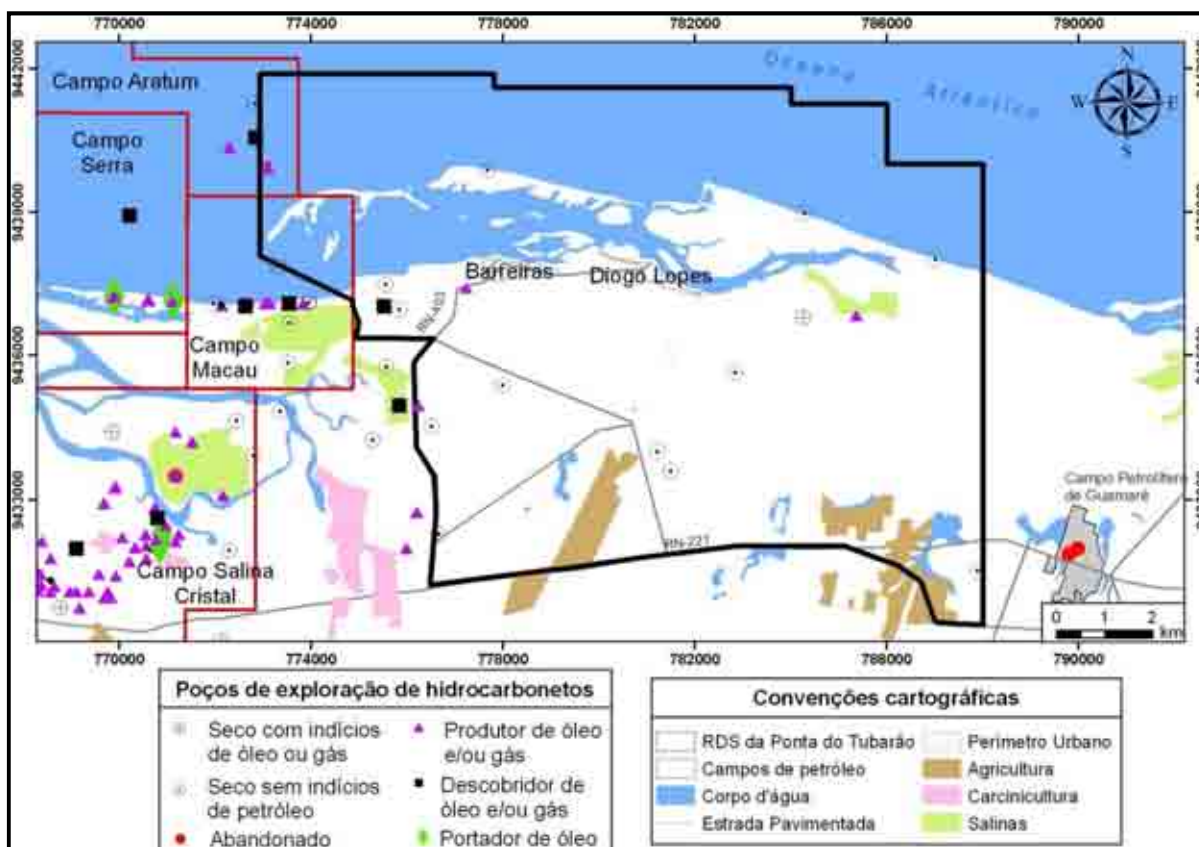
**Figura 2.10:** Principais atividades socioeconômicas existentes na área de estudo. Pesca artesanal, agricultura subsistência, indústrias carcinicultura, salineira e petrolífera.

Segundo o IDEC (1997), a economia local advém, em sua grande totalidade, dos setores secundário e terciário, através da exportação do sal industrializado pelas grandes empresas, da exploração do petróleo, da indústria carcinicultora e dos serviços em geral. O setor primário não alcança expressividade como gerador de renda ou ocupação da população economicamente ativa, podendo-se apenas destacar a pesca artesanal como ocupação majoritária, embora sem retorno econômico ao município, pelas condições em que é praticada. A área, por sua própria evolução histórica, condições geológicas e climáticas, não apresenta atividades agrícolas de porte, além de sofrer processo de esvaziamento da área rural.

Para a área em questão, apenas três dessas atividades se destacam tanto pela importância econômica como pelo fator de risco ambiental que algumas delas proporcionam: à indústria salinera, petrolífera e a carcinicultura.

Dentre os principais impactos ambientais estão a destruição de manguezais para construção de fazenda de camarão, assim como a mineração intensiva de areias da Formação Barreiras, nos taludes do tabuleiro costeiro, destruindo a vegetação de mata de tabuleiro, a fim de se construírem os taludes dos viveiros de camarão e os tanques salineros. A população ribeirinha que retira parte de seu sustento da floresta de manguezal, com a coleta de ostras e caranguejos, a pesca de peixes e camarões, passou a ser um pouco prejudicada pela especulação imobiliária em áreas de manguezal para a implantação de tal atividade.

A área desta pesquisa conta com quatro campos de extração de petróleo da empresa PETROBRAS S.A, tanto *onshore* como *offshore*. Subordinada à produção petrolífera está a produção de gás natural (IDEMA, 1999). A produção de camarão em cativeiro (carcinicultura) apresenta-se com pouca representação, com apenas algumas fazendas de engorda e um laboratório de larvicultura. Outra atividade econômica dominante, porém com menos destaque na região devido à produção ocorrer de forma artesanal é a pesca, onde os distritos de Diogo Lopes e Barreiras se destacam com uma produção estimada de cerca de 200 toneladas em 2001 (SRHPE, 2002). Apesar das comunidades de pescadores se organizarem em cooperativas, boa parte da produção ainda é de subsistência. Outra atividade econômica a agricultura de subsistência, principalmente relacionada à cultura do milho, exclusivamente no período chuvoso, também se faz presente. Porém a atividade secular na região é a indústria salinera, através da grande produção e exportação de sal. (Figura 2.11).



**Figura 2.11:** Mapa das principais atividades socioeconômicas desenvolvidas na área de estudo. Modificado de Silva (2009) com base em ANP (2008) e imagem CBERS 2008.

## 2.2 Contexto geológico

### 2.2.1 Geologia local

A Bacia Potiguar localiza-se na porção mais Oriental do Nordeste do Brasil, ocupando uma área de 48.000 km<sup>2</sup>, sendo 21.500 km<sup>2</sup> de área emersa e 26.500 km<sup>2</sup> submersa e engloba os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, limitando-se, a Leste, com a Bacia Pernambuco Paraíba, pelo Alto de Touros, a Noroeste, com a Bacia do Ceará, pelo Alto de Fortaleza; a Sul, com as rochas do embasamento cristalino, e, ao Norte, com o Oceano Atlântico até a isóbata de -2000 m. A Bacia Potiguar é constituída por um pacote de rochas sedimentares cujas idades variam do cretáceo ao terciário. (Figura 2.12).

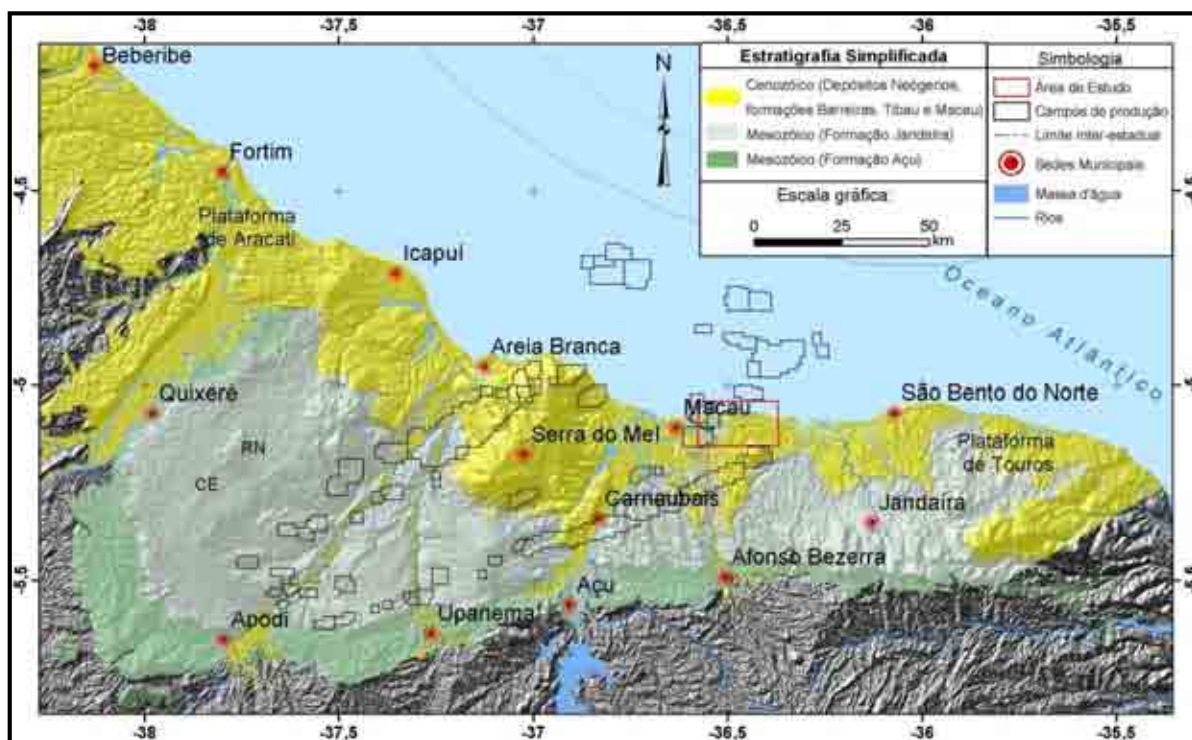


Figura 2.12: Mapa da Bacia Potiguar para a área de estudo. Modificado de Silva (2009).

Para Angelim *et al.* (2006), o Estado do Rio Grande do Norte está inserido no contexto geodinâmico da Província Borborema, compreendendo rochas pré-cambrianas do Embasamento cristalino (ortognaisses e meta-vulcano-sedimentares do Paleoproterozóico e núcleos arqueanos) e Grupo Seridó (metassupracrustais neoproterozóicas), além de granitóides relacionados ao Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico ao Cambriano). Segundo Almeida *et al.* (1977), este embasamento é recoberto pelo material sedimentar siliciclástico e carbonático das bacias Potiguar, à N, e Pernambuco-Paraíba, à E, além de eventos magmáticos associados a estas bacias que estão relacionadas à abertura do Oceano Atlântico, no Cretáceo. As bacias são cobertas por unidades neoceno-zóicas em comum que consistem na Formação Barreiras e depósitos neógenos.

De acordo com o mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte (Angelim *et al.*, 2006) e Silva (2009) a geologia da área de estudo é composta por rochas de idade cretácea (Figura 2.13), sendo aflorantes as rochas sedimentares do Grupo Agulha compostos pelas formações Tibau, Barreiras e Potengi, representando a sedimentação flúvio-marinha regressiva da margem passiva da Bacia Potiguar e localmente a Formação Macau, representando o magmatismo na região (Araripe e Feijó, 1994).

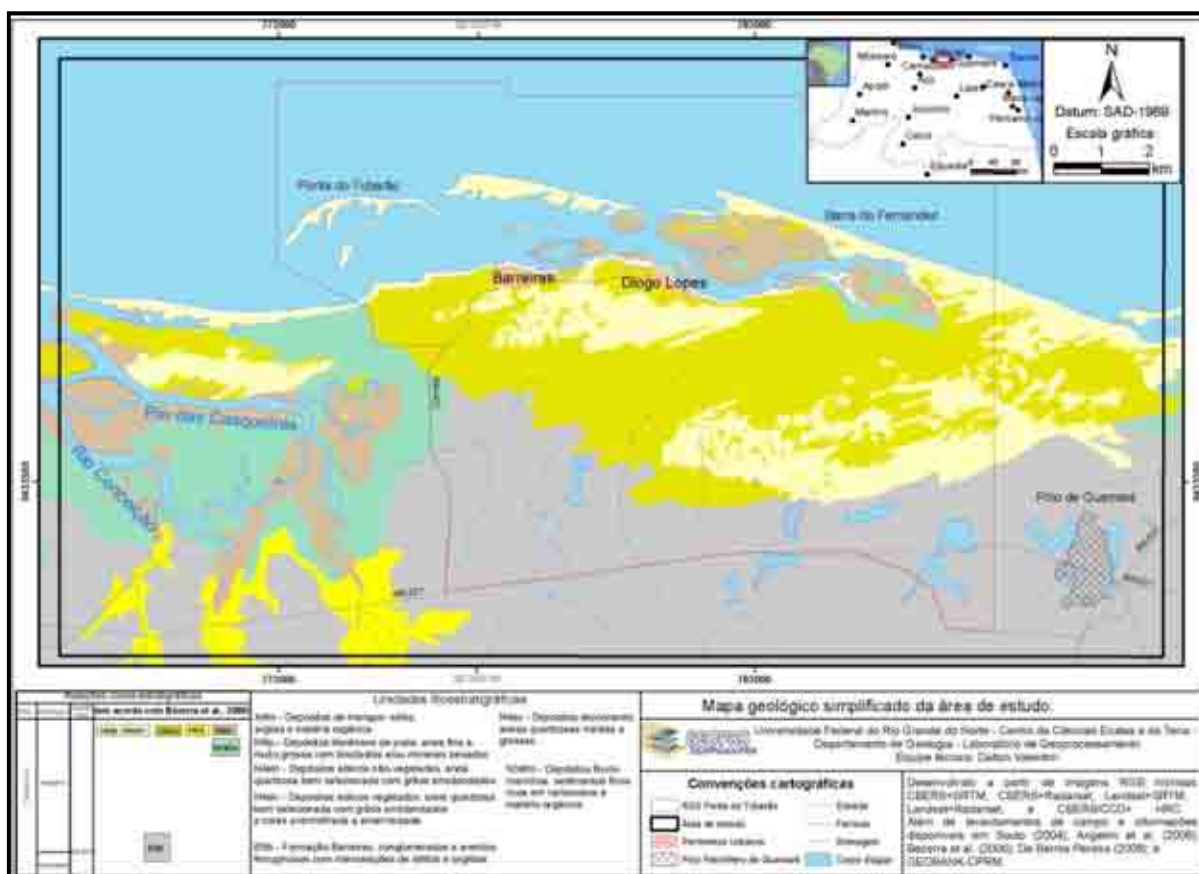


Figura 2.13: Mapa geológico para a área de estudo. Modificado de Silva (2009).

Os principais depósitos encontrados são: siltitos, argilitos, arenitos e conglomerados do Grupo Barreiras, rochas vulcânicas (basanitos e basaltos) relacionadas ao Magmatismo Macau, depósitos aluvionares antigos e recentes (areia, cascalho e argilas), flúvio marinhos de ambiente deposicional de intermaré (areia, silte e argila) caracterizados pela planície de inundação do Rio Piranhas-Açu, depósitos litorâneos de praia e dunas móveis, depósitos flúvio lacustrinos de origem biogênica/clástica (diatomito, pelito e areia) e depósitos inconsolidados de origem eólica litorânea e de paleodunas. Segundo Angelim *et al.* (2006), a seqüência mais recente da geologia é composta por sedimentos holocênico ou neógeno (eólicos, aluvionares, *beachrocks*, ilhas barreiras entre outros). Esta última seqüência predomina na região.

### 2.3 Contexto geomorfológico

Na paisagem costeira, o modelamento das formas de relevo é resultante da ação constante dos processos do meio físico, das condições climáticas, das variações do nível do

mar, da natureza das seqüências geológicas, das atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carreados pelos rios e pelo oceano (Suguio, 1988).

Para Silveira (2002), a evolução ambiental dessas feições geomorfológicas tem seu paleoambiente relacionada à feição de baía estuarina, em períodos com níveis do mar mais elevados. Segundo Caldas (1996 e 2002), a modificação deste ambiente ocorreu no Quaternário, decorrente da estabilização do nível do mar em sua posição atual, promovendo a formação de barras arenosas próximas à costa e o surgimento de terraços adjacentes e/ou circunvizinhos às águas estuarinas, que têm o fluxo e refluxo ocorrendo nos diversos canais da planície estuarina. A morfologia atual da região permite o ingresso da maré nos rios e canais de maré, e por vezes, na fase equinocial, barras arenosas, terraços fluvio-marinhos e terraços estuarinos em algumas das áreas. As condições climáticas atuais, associadas à natureza dos sedimentos, aos aspectos da dinâmica oceanográfica e ao suprimento de sedimentos, têm propiciado o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea. A constatação destas instabilidades pela progradação da linha da costa, por meio da formação de extensos depósitos arenosos e areno-argilosos com superfície plana a suavemente ondulada; barra arenosa; zonas de estirâncio e dunas costeiras.

Para Farias (1997), esta zona constitui uma área de transição entre o oceano e o continente, onde se concentra um grande número de atividades fundamentais ao homem, relacionadas com a economia, alimentação, transporte, recreação e urbanismo. Essas atividades situam-se em compartimentos geomorfológicos de estrutura frágil diante das intervenções antrópicas, devido à sua complexidade ambiental, onde atuam conjuntamente vários mecanismos, tais como ventos, ondas, correntes, chuvas, marés, insolação, erosão, deposição, etc.

### **2.3.1 Tabuleiro costeiro**

Os tabuleiros costeiros constituem uma unidade geoambiental que compreende uma faixa que acompanha todo o litoral desde o Rio de Janeiro até o Amapá, com uma largura de 100 a 200 km, sempre acompanhando o litoral. No Nordeste, possui uma área estimada em 8.420.000 ha, representando cerca de 5,92% desta região. É constituída de platôs sedimentares, cuja altitude varia de 30 a 150 metros. O relevo varia entre vales estreitos e encostas abruptas ou vales abertos com encostas suaves ou ainda fundo com amplas várzeas. Em geral, os solos são pobres e possuem pouca capacidade de armazenamento de água. A

vegetação nativa para a área em questão é a caatinga. Porém para outras áreas do estado, a vegetação característica é de mata atlântica.(Figura.2.14).

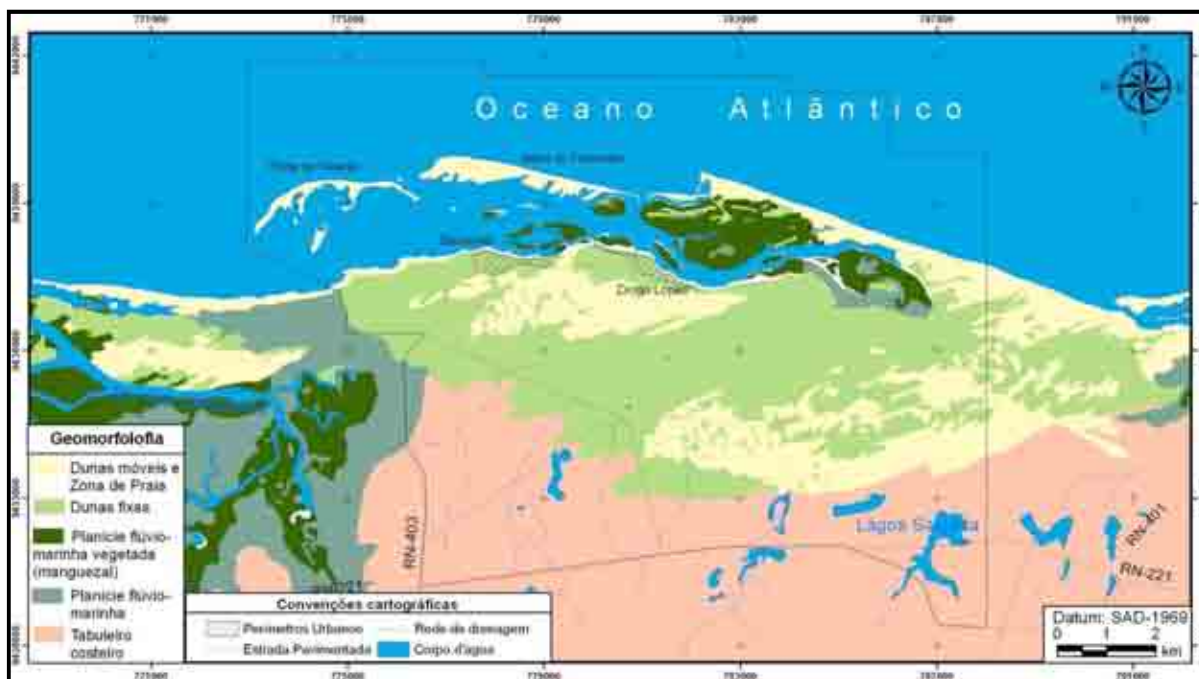


Figura 2.14: Mapa geomorfológico da área de estudo. Modificado de Silva (2009).

### 2.3.2 Superfície de aplainamento

Corresponde à superfície aplainada do topo das falésias da Formação Barreiras, possuindo relevo plano a suavemente ondulado (Figura 2.14), resultante da atuação de processos morfogenéticos de dinâmica variada relacionada a ciclos de espriamento de detritos fluviais e lacustres. De acordo com Vilaça *et al.* (1985), está relacionada à justaposição de sequências sedimentares do Terciário ao Quaternário, evidenciadas por inconformidade erosiva e paleossolos, correspondente à Formação Barreiras e aos sedimentos arenosos de cobertura. A região dos estuários encontra-se também ocupada por vegetação de caatinga densa e rala sobre relevo plano a suavemente ondulado com variações topográficas.

### 2.3.3 Planície de inundação flúvio-estuarina

Este compartimento é descrito ao longo dos rios ou canais de maré onde formam superfícies planas e suavemente inclinadas, poucos metros acima do nível médio das águas fluviais ou estuarinas, inundáveis em períodos de cheias. A origem das planícies de inundação

fluviais está relacionada às antigas áreas de planície de maré estuarina, atualmente sujeitas à dinâmica fluvial e transbordamentos dos canais durante as cheias.

No interior dos estuários são comuns os terraços estuarinos que constituem superfícies horizontais, ou levemente inclinadas, com altitude de 0 a 2 m em relação ao nível das águas. Tais terraços, às margens dos leitos atuais e/ou no interior em forma de ilhas, são vestígios de assoreamento de planícies estuarinas antigas, em níveis mais elevados, caracterizados principalmente pelos depósitos aluviais. (Figura 2.14).

Estas são encontradas em áreas onde o gradiente de declividade é quase nulo, estando sujeitas à ação das marés. Devido à topografia, estas áreas são ambientes favoráveis aos processos de sedimentação fluvio-marinhas. São caracterizados por solos com alto teor de salinidade, águas mornas e salobras, e o constante fluxo das marés. Seus depósitos são constituídos por lamas escuras, ricas em matéria orgânica, restos de madeira e fragmentos de conchas. Na área em estudo é melhor observado na área da RDSEPT.

#### **2.3.4 Planície fluvio-marinha**

Leal (2003), baseado em estudos da região do Rio Jaguaribe, no litoral leste do Estado do Ceará, propõe como componentes da unidade geoambiental denominada de planície fluvio-marinha as porções mais baixas situadas entre as marés baixa e alta inundadas pelo menos duas vezes por dia por água salgada (Figura 2.14), apresentando solo tipicamente argiloso e rico em matéria orgânica, e que são ocupadas pelos mangues; e as áreas topograficamente mais elevadas que as dos manguezais, mas que são atingidas pelas águas marinhas apenas duas vezes no período de um mês, durante as marés de sizígia, que são localmente conhecidas com “salgados” ou apicuns.

#### **2.3.5 Planície de maré**

Planície de maré/estuarina e intermaré é o setor entre os níveis de maré alta e de maré baixa, e sofrem ação das marés e os efeitos de espraiamento das ondas após a arrebentação. Na área em estudo é observada também a formação de barras arenosas, que ocorrem longitudinalmente à linha de costa.

Este compartimento corresponde às áreas de baixo gradiente próximas à costa, com declividade baixa em direção ao mar e/ou canais principais de drenagem, caracterizados como áreas mistas cobertas durante as marés estuarinas enchentes e descobertas durante as vazantes

e composta por três zonas: supramaré, intermaré e inframaré. A planície de maré (Figura 2.14) é frequentemente recortada por canais de maré acentuadamente curvilíneos.

### 2.3.6 Dunas

As dunas costeiras apresentam um importante sistema de proteção à linha de costa contra a erosão e a inundação causada por eventos de ressaca e por elevações no nível médio do mar (Nordstrom *et al.*, 1990). A intensidade da interferência antrópica também vem influenciando cada vez mais no desenvolvimento e manutenção destes ambientes. (Figura 2.14).

**2.3.6.1 Dunas móveis:** o campo de dunas móveis está representado por depósitos de areia média a muito fina inconsolidadas, bem selecionadas, com coloração variando de cinza clara (superfície) a esbranquiçada (subsuperfície), desprovidas de cobertura vegetal, sujeitas à dissipação pelos ventos, formando bacias de deflação na base a sotavento (vertente contrária à direção dos ventos dominantes) caracterizando formas de meia lua, as chamadas dunas barcanas. Por serem formas de relevo resultantes da deposição eólica, as dunas estão sobrepostas às feições de planície de deflação e, localmente, aos terraços estuarinos. Vários estágios destas feições podem ser observados, desde os depósitos praias que remobilizados pela ação eólica dão forma aos feixes de cordões litorâneos, que retrabalhados pelo vento dão origem às dunas típicas.

As bacias de deflação, na área em estudo, são feições do relevo em forma de depressão semicircular, por vezes acumuladoras de água pluvial, escavadas nos declives das dunas móveis. A origem está relacionada à formação de redemoinhos de ventos que dissipam as areias em todas as direções (Vilaça *et al.*, 1985).

**2.3.6.2 Dunas fixas:** são encontradas ao longo de toda a área em estudo, principalmente a Sul da mesma; nas regiões onde ocorrem, as dunas são parcialmente fixadas por vegetação esparsa e, portanto, sujeitas a dissipações de areia menos intensas do que as dunas móveis. Trata-se de feições em forma de cordões longitudinais isolados em forma de grampo de cabelo, com flancos convexos e cotas altimétricas médias de até 30 metros. Por vezes ocorrem sobreposições dos cordões, dando origem à forma de língua. A origem das dunas fixas está relacionada provavelmente a processos de regressão marinha, coincidente com períodos de clima árido a semi-árido, que deixaram expostos os depósitos de areias. Estes depósitos constituíram reservas de areias que foram remobilizados pela ação eólica em direção ao continente.

### 2.3.7 Planície interdunar

Este compartimento do relevo compreende comumente à área entre a zona de praia e o campo de dunas móveis e/ou fixas (Figura 2.14), com relevo plano, com ondulações suaves e declividade predominantemente para o oceano, e cotas altimétricas entre 2 a 5 m. A origem desta feição está relacionada a processos de remoção e transporte de sedimentos médios a finos pela ação do vento, resultando na formação de depressões extensas, definindo esta planície como uma faixa de transição de areias e, portanto, sujeita a intensas modificações temporais. Por vezes, os terraços flúvio-estuarinos e/ou marinhos presentes nesta área encontram-se mascarados pela dinâmica dos depósitos de areia eólica. Estes sedimentos são provenientes da zona de praia, de onde são remobilizados na direção do continente pela ação eólica, e realimentam o campo de dunas móveis.

## 2.4 Geoprocessamento

As recentes preocupações mundiais com o estado e conservação dos ecossistemas terrestres, assim como o acompanhamento das funções vitais destes sistemas, têm gerado estudos em escala global. A observação da Terra por sensores a bordo de satélites possibilitou importantes avanços nos métodos e eficiência do mapeamento e monitoramento dos ecossistemas terrestres, notadamente através de suas coberturas vegetais. A possibilidade de obtenção de dados em diferentes faixas do espectro eletromagnético e a integração, através de modelos, com dados obtidos no campo, abriu uma nova fase do conhecimento sobre o estudo da biosfera (Aber e Mellilo, 2001).

Dados de sensores que atuam na faixa ótica do espectro eletromagnético juntamente com dados de sensores ativos ou ambos fundidos têm sido utilizados no mapeamento e monitoramento de diferentes formações vegetais e outras áreas de pesquisa como os trabalhos de Barros Pereira (2008).

O Projeto Desmatamento (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por exemplo, promoveu o mapeamento e quantificação das áreas desmatadas na Amazônia brasileira, baseando-se em imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo dos satélites LANDSAT 4 e 5. Imagens de sensores óticos e termais também têm sido usadas para detecção e monitoramento de incêndios florestais, áreas queimadas, identificação de espécies em áreas reflorestadas (Shimabukuro *et al.*, 1980), e estimativa de idades de capoeiras na

Amazônia (Sant'Anna *et al.*, 1995), só para citar algumas utilizações e aplicações destes sensores.

## 2.5 Comportamento espectral da vegetação

A resposta espectral da vegetação pode ser mais bem compreendida ao se tratar do comportamento de apenas uma folha (Moreira, 2001). Quando saudas, ou seja, quando as folhas estão desempenhando suas funções biológicas (metabolismo) em perfeitas condições, apresentam uma curva espectral caracterizada por um pico de absorção, inversamente proporcional à reflectância, na região do azul e outro na região do vermelho, ambos os picos são devido à presença de clorofila, grupo de pigmentos fotossintéticos presente nos cloroplastos das plantas, dando a coloração verde típica dos vegetais e um leve pico de reflectância na região do verde (Figura 2.15). Na transição do vermelho para o infravermelho próximo há um acentuado aumento na reflectância, o qual se mantém ao longo da faixa do infravermelho próximo. Este aumento da reflectância está relacionado à estrutura interna celular da folha, onde ocorrem múltiplas reflexões e refrações.

A faixa do verde é absorvida pelas plantas em menor quantidade do que as faixa do azul e do vermelho, fazendo com que ela seja refletida mais do que estas últimas, o que dá a aparência verde às folhas (Thiam e Eastman, 1999; Verbyla, 1995).

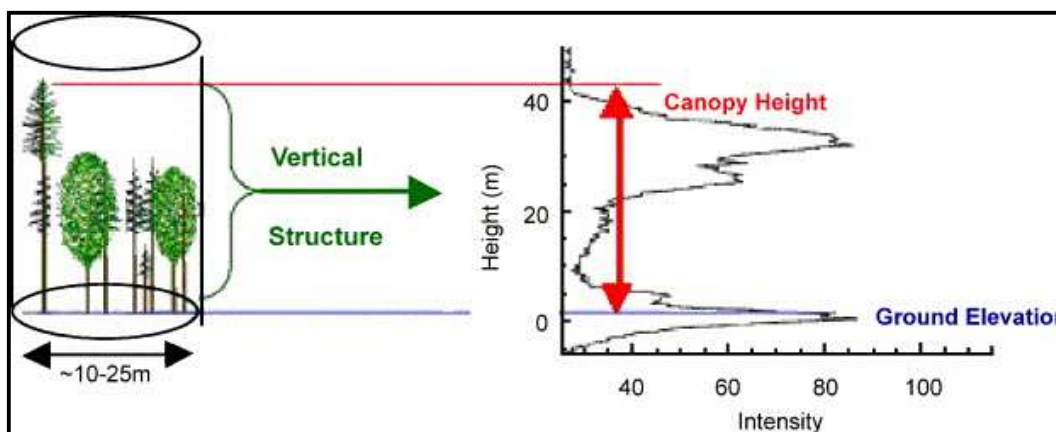


Figura 2.15: Representando pico da reflectância no topo verde do dossel florestal.

Segundo Moreira (2001), o comportamento de uma única folha é válido, apenas até certo ponto, para um conjunto de plantas que integram um ecossistema, uma vez que a folha é o principal componente do mesmo. Essa restrição ocorre porque sempre há diversos tipos de vegetação que ocupam o mesmo estrato e também no estrato inferior do solo, abaixo das plantas predominantes. Curran (1985) aponta também a influência de diversos outros fatores

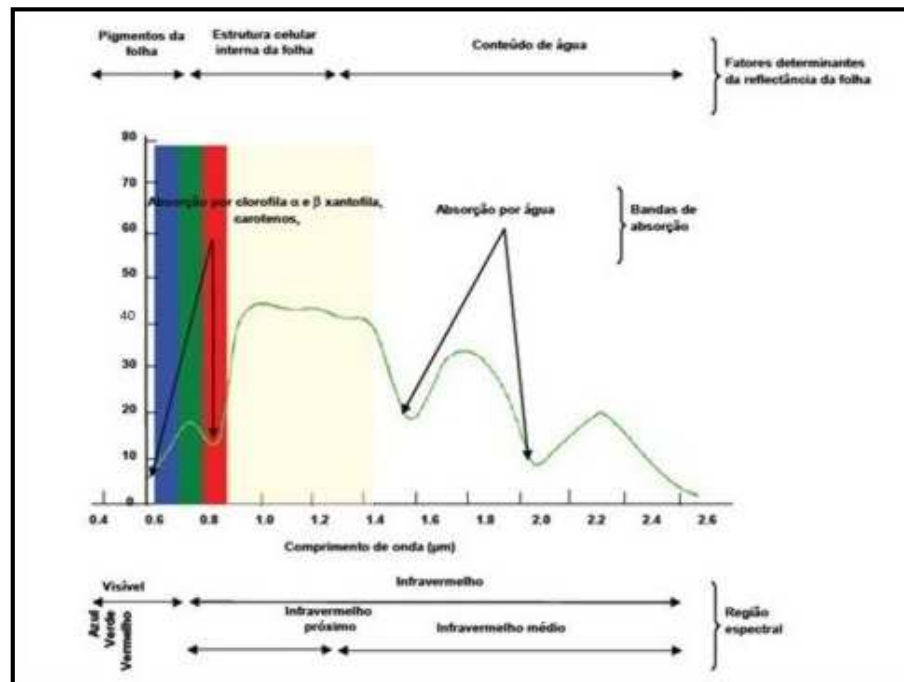
tais como influência de superfícies desfolhadas, mudanças no ângulo de iluminação e orientação das folhas.

Há uma forte relação entre os nutrientes com a reflectância das plantas. A deficiência mineral pode por sua vez trazer alterações na saúde do vegetal e, portanto nas concentrações de clorofila e pode afetar também a estrutura interna das folhas. Essas modificações foliares são percebidas na resposta da vegetação no espectro eletromagnético.

As diferentes formas de vegetação agem diferentemente na absorção e reflectância das ondas do espectro eletromagnético. Para se entender porque a vegetação reflete mais certos comprimentos de onda, é necessário primeiro considerar as propriedades de reflectância de uma folha individual. Afirma Curran (1986), que a folha é constituída de uma estrutura fibrosa de matéria orgânica, dentro da qual há pigmentos, células contendo água e espaços de ar. Cada um desses três elementos (pigmentação, estrutura fisiológica e conteúdo de água) produz efeito nas propriedades de reflectância, absorvância e transmitância da folha verde.

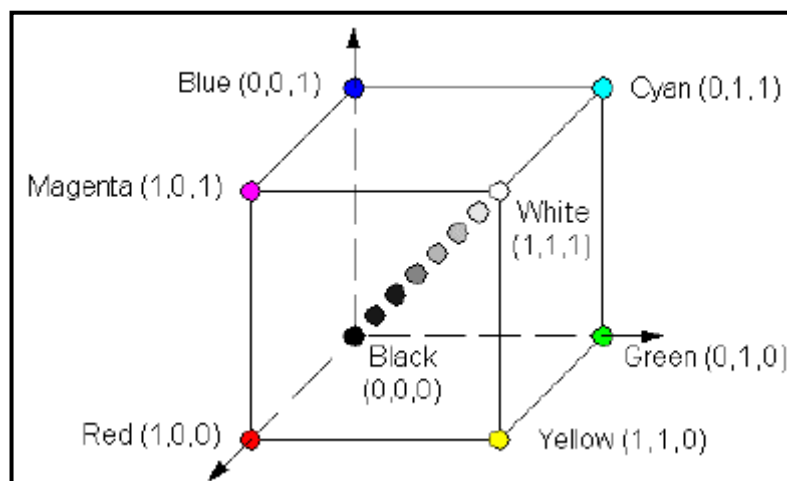
A cobertura vegetal sadia tem uma alta interação com energia na região de comprimento de ondas visível e infravermelho próximo. A região do visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) é a parte do espectro eletromagnético utilizada pelas plantas para a fotossíntese, o que explica a forte absorção de energia nesses comprimentos de onda e, por conseqüência, baixa reflectância e baixa transmitância. Essa alta absorção está concentrada na região do azul e do vermelho.

O conteúdo de água presente nas folhas também afeta a reflectância, sendo mais acentuada na região do infravermelho. A reflectância é reduzida, como resultado de bandas de absorção de água presentes no espectro de uma folha. Há três bandas maiores de absorção de água, que ocorrem nos comprimentos de onda de 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  e 2,7  $\mu\text{m}$ , e duas bandas menores, que ocorrem a 0,96  $\mu\text{m}$  e 1,1  $\mu\text{m}$  (Figura 2.16). A reflectância no interior das folhas nesses comprimentos de onda é negativamente relacionada tanto para a quantidade de água na folha quanto para a espessura. Entretanto, a água da atmosfera também absorve radiação nesses comprimentos de onda, e por essa razão a maioria dos sensores operam nas três janelas atmosféricas que estão livres da absorção de água nos comprimentos de onda de 0,3 a 1,3  $\mu\text{m}$ ; 1,5 a 1,8  $\mu\text{m}$  e 2,0 a 2,6  $\mu\text{m}$ . Nesses comprimentos de onda, a radiação eletromagnética é sensível à umidade da folha.

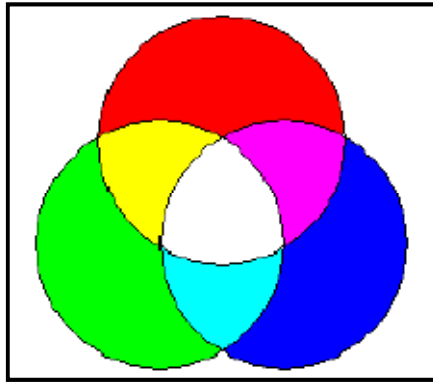


**Figura 2.16:** Comportamento espectral da vegetação no espectro eletromagnético.  
Fonte: Propriedades ópticas da vegetação e do solo (2004).

Assim, pela análise visual da imagem, pela informação obtida em campo e pelo conhecimento do comportamento espectral da vegetação, determinam-se limiares com a finalidade de extrair a informação de interesse. Ao se fazer a análise visual usa-se o modelo de cores aditivo *Red-Green-Blue* (RGB), por meio do qual os limiares são percebidos. No modelo de cor RGB, cada cor é representada pela sua componente espectral primária de Vermelho (*Red*), Verde (*Green*) e Azul (*Blue*), as quais constituem três planos independentes na imagem multispectral (Figuras 2.17 e 2.18).



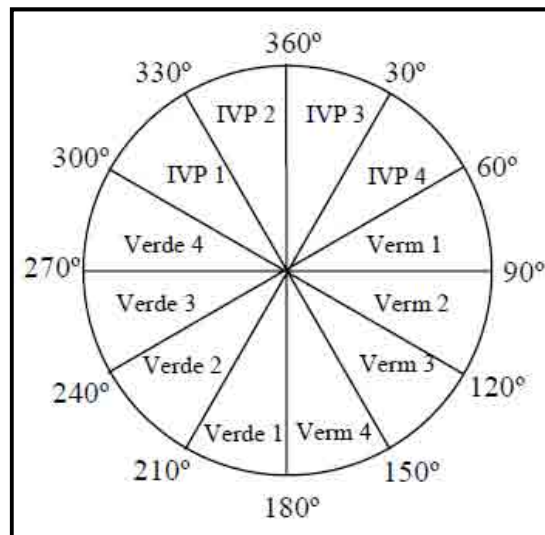
**Figura 2.17:** Representação gráfica do modelo RGB.



**Figura 2.18:** Propriedades aditivas do modelo RGB.

Segundo Gonzalez e Woods (1992), estas características são normalmente usadas para distinguir uma cor da outra. Por exemplo, pela análise visual da imagem verifica-se que ervas e cultura refletem o matiz correspondente ao infravermelho-próximo. Entretanto, por meio do modelo de cores RGB não é possível aplicar limiares para separar os dois alvos. Já no sistema formado pelos atributos de Brilho ( $I = Intensity$ ) – Matiz ( $H = Hue$ ) – Saturação ( $S = Saturation$ ), modelo de cores IHS, é possível a aplicação destes limiares. Desse modo, torna-se mais simples extrair informações no modelo de cores IHS. No modelo de cor IHS, a componente I representa a componente acromática da cor, a componente H é o atributo relacionado com o comprimento de onda dominante em uma mistura de faixas de luz e a componente S refere-se à pureza relativa ou quantidade de luz branca misturada com a cor dominante. Estas duas últimas componentes formam a cromaticidade de uma cor. Este modelo descreve completamente as cores dos objetos. Além disso, é muito vantajoso, pois possibilita a análise e manipulação de cada componente I, H, S, independentemente para realçar as características de interesse da imagem.

Para compreender os experimentos realizados com a componente H, deve-se lembrar que a imagem trabalhada é “infravermelha falsa-cor” e que suas faixas do infravermelho próximo (IVP), vermelho e verde estão associadas às cores vermelho, verde e azul. A (Figura 2.19) apresenta as variações angulares (de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ ) da componente H associadas aos comprimentos de onda IVP ( $300^\circ$ - $60^\circ$ ), vermelho ( $60^\circ$ - $180^\circ$ ) e verde ( $180^\circ$ - $300^\circ$ ), os quais são percebidos pela câmara. Cada um desses intervalos foi dividido em quatro, como pode ser visto pela (Figura 5.5).



**Figura 2.19:** Variações angulares da componente H.

## 2.6 Imagens de Radar

A cobertura de nuvens, entretanto, limita o estudo da vegetação através de dados de sensores remotos óticos ou termais, principalmente em regiões tropicais. Além disto, a interação da radiação e vegetação registrada nas imagens limita a análise às camadas superiores do dossel florestal, dificultando a estimativa de variáveis biofísicas relacionadas à estrutura vertical da floresta.

Desde a década de 1960, os dados de radar têm sido reconhecidos como úteis para aplicações militares em regiões tropicais. A liberação dos dados de radar para uso civil, nos anos 70, possibilitou a realização de projetos como o RADAMBRASIL e o PRORADAM, na Colômbia, onde imagens de radar aerotransportado foram utilizadas para mapeamentos geológicos e de vegetação, entre outros.

Como sistemas ativos, os radares operam com a transmissão e recepção de microondas, capazes de atravessar nuvens e chuva, e, em determinadas condições, dosséis vegetais e solos. Dados de radar contêm informações relacionadas com as propriedades biofísicas da vegetação, principalmente sobre sua estrutura e conteúdo hídrico. Estes dados, entretanto, não se tornaram ferramentas de uso tão disseminado como dados de sensores óticos. Entre os obstáculos para a difusão de dados de radar (Kasischke *et al.*, 1997), apontaram a dificuldade de interpretação destes dados, que registram a superfície terrestre de uma maneira diferente do que a vemos e a apresentam em diferentes tipos de produtos (por exemplo: imagens que registram a amplitude e/ou fase das microondas, em uma ou mais polarizações, etc). Da mesma forma, são necessários dados de radar calibrados e programas

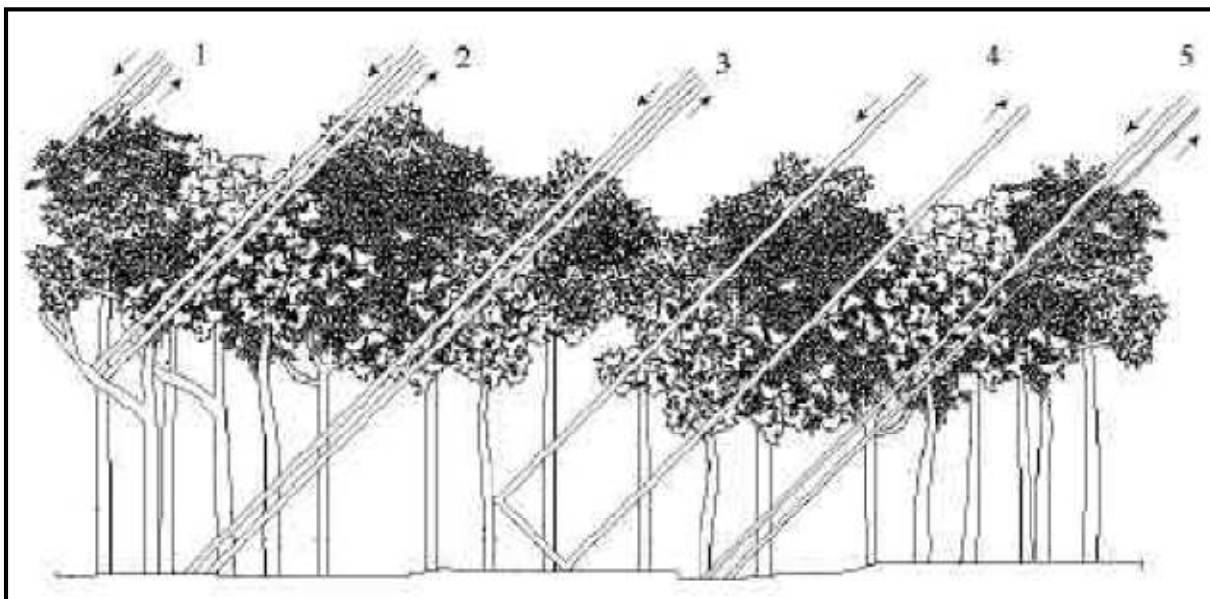
para o processamento destes dados, não disponíveis comercialmente até o início dos anos 90 (Kasischke *et al.*, 1997).

Informações sobre o estado e extensão da cobertura vegetal do planeta podem ser fornecidas através de produtos de sensoriamento remoto. Imagens *Synthetic Aperture Radar* (SAR - Radar de Abertura Sintética), por não serem suscetíveis às condições atmosféricas, resolvem o problema da cobertura de nuvens em imagens adquiridas remotamente e têm sido utilizados de maneira crescente no estudo de florestas.

Os radares são sistemas ativos que geram sua própria radiação na faixa das microondas, cujos comprimentos de onda variam de 1,0 cm a 1,5 m. Os radares podem operar em diferentes bandas, que se referem aos comprimentos de onda e frequências das microondas transmitidas e recebidas como eco da superfície terrestre. O tamanho da antena utilizada pelo radar determina a largura do pulso de microondas transmitido e, conseqüentemente, a resolução na direção do imageamento (resolução azimutal).

Uma imagem digital de radar consiste numa matriz onde cada célula (ou pixel) apresenta um valor numérico proporcional à intensidade do eco que retorna à antena do radar. Este eco é conhecido como retroespalhamento, pois se refere à radiação que foi espalhada na direção do radar. Quando se quer o retroespalhamento em função da área imageada, trabalha-se com o coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^{\circ}$ ) que de tão variável, é expresso como logaritmo em unidades de decibel (dB) (Waring *et al.*, 1995). Quanto maior o eco ou retroespalhamento, mais claro o objeto na imagem de radar. O retroespalhamento varia em função do comprimento de onda ou frequência, polarização e ângulo de incidência das microondas incidentes, conhecidos como os parâmetros do radar. Igualmente, as características dos objetos na superfície terrestre, como constante dielétrica (relacionada ao conteúdo hídrico), rugosidade e geometria, influenciam os valores do retroespalhamento.

A representação de uma floresta numa imagem SAR, como por exemplo, um manguezal, será a combinação das respostas geradas através dos diferentes mecanismos de espalhamento e inclui a contribuição direta do solo, do tronco, da copa das árvores, da interação copa/solo e da reflexão dupla tronco/solo (Leckie e Ranson, 1998). Outros autores como Le Toan *et al.*, (1992) incluem ainda retroespalhamento tronco-solo atenuado pelo dossel vegetal e espalhamentos múltiplos provenientes dos galhos como podemos ver na (figura 2.20).



**Figura 2.20:** Mecanismos e componentes do retroespalhamento proveniente de florestas em imagens de radar: (1) retroespalhamento da superfície e interior do dossel, (2) retroespalhamento direto do tronco, (3) retroespalhamento direto do solo, (4) dupla reflexão tronco-solo e (5) retroespalhamento integrado copa-solo adaptado de Leckie e Ranson, (1998).

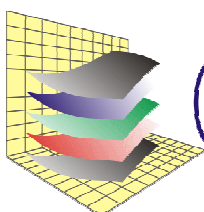


---

# CAPÍTULO III

*Metodologia*

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

### **3.1 Metodologia**

As técnicas de Geoprocessamento, incluindo o uso de produtos digitais de sensoriamento remoto orbitais óticos e de RADAR, permitem a caracterização e o estudo da evolução ambiental de uma dada região, desde os estágios iniciais até o acompanhamento dos processos antrópicos e naturais por meio de análises multitemporais. Explorando essa vantagem dos programas de Sensoriamento Remoto orbitais e, em conjunto com os procedimentos metodológicos conceituados por Souto (2002, 2004 e 2009), Souza (2004), Silva (2009), Nascimento (2009), Dantas (2009), Xavier da Silva (2000 e 2001), Paranhos Filho (2000) e Meireles (1997), foi elaborado um roteiro (Figura 3.1) que serviu de orientação na execução das atividades de pesquisa na área de estudo.

Entretanto, investigar a natureza e as associações de eventos e entidades registráveis nestas condições ambientais é uma tarefa que pressupõe procedimentos metodológicos ordenados. Sendo assim, os eventos e entidades ambientais foram estudados em termos da ocorrência de localizações coincidentes em nível de detalhe, adequadas aos dados disponíveis, definindo-se, assim, a possibilidade de correlações baseadas na localização e nos diversos níveis de ocorrência concomitantes registrados. Além disto, os eventos e entidades ambientais puderam ser analisados segundo a sincronia de suas alterações registradas, ou seja, de sua evolução (Souto, 2002, 2004 e 2009), (Souza, 2004), (Silva, 2009), (Nascimento, 2009), (Dantas, 2009), (Xavier da Silva, 2000 e 2001).

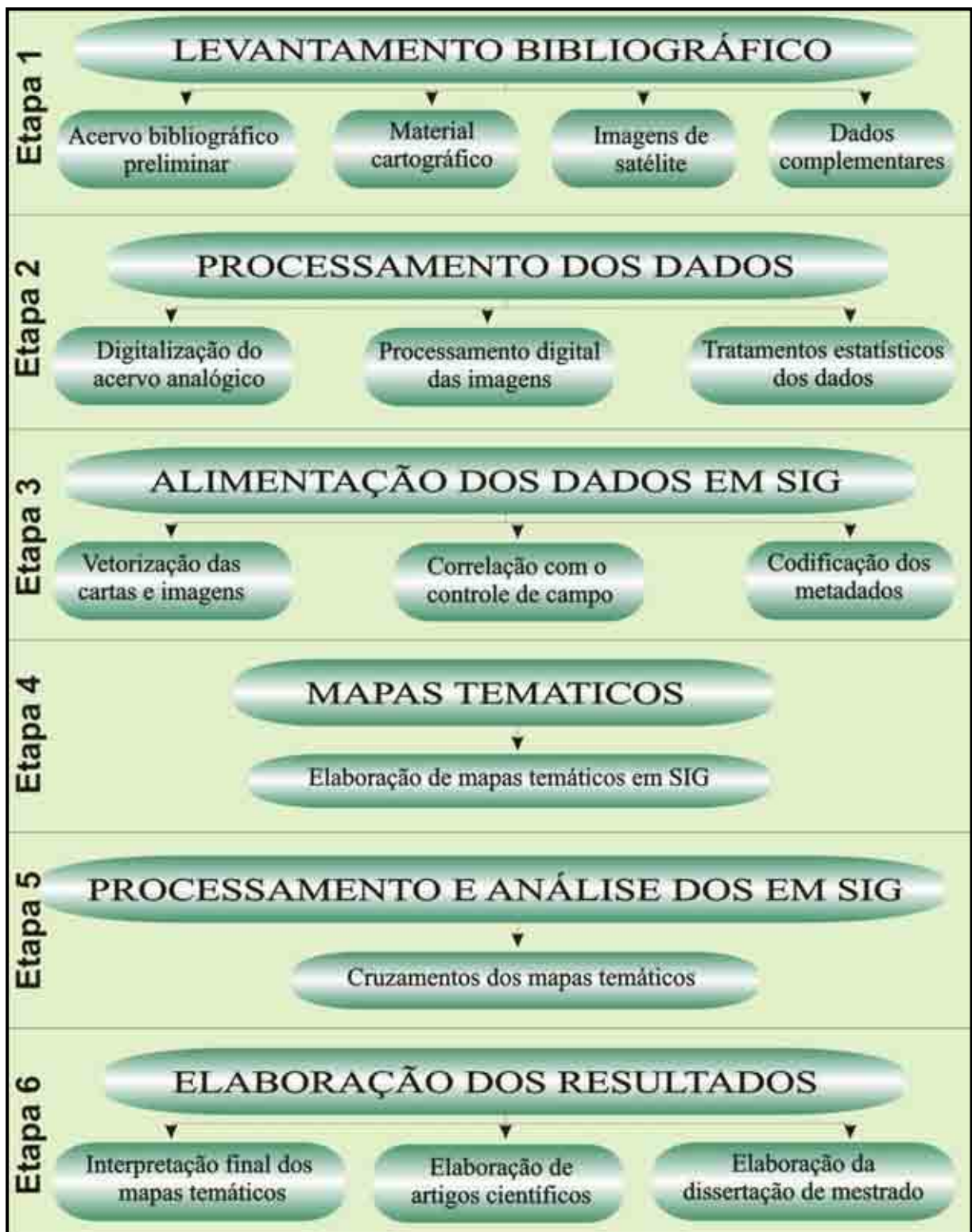


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho.

### 3.2 Roteiro Metodológico

Este trabalho foi realizado seguindo seis fases. Contudo, as atividades foram desenvolvidas de modo sequencial e em paralelo, seguindo uma abordagem multidisciplinar, na qual foram integrados dados multifontes por meio do SIG. No decorrer deste capítulo, serão apresentadas em detalhe as abordagens metodológicas para cada objetivo proposto.

O roteiro metodológico envolveu seis etapas, a saber:

- **Levantamento bibliográfico:** compreendeu a compilação do acervo bibliográfico preliminar, além do material cartográfico, das imagens de satélite e dados complementares, visando além da fundamentação teórica, as estratégias de coleta de dados em campo;
- **Processamento dos dados:** abrangeu o pré-processamento, digitalização do acervo analógico, processamento digital das imagens e os tratamentos estatísticos dos dados;
- **Alimentação dos dados em ambiente SIG:** nessa etapa, realizou-se a vetorização das cartas e imagens, a correlação com o controle de campo, além da codificação dos metadados;
- **Confecção de mapas temáticos:** elaboração de mapas temáticos em SIG;
- **Processamento e análise dos dados em ambiente SIG:** realizaram-se os cruzamentos dos mapas temáticos oriundos da interpretação das imagens multitemporais;
- **Elaboração dos resultados:** compreende a geração e interpretação final do cruzamento realizado na etapa anterior, bem como a elaboração de artigos científicos e da dissertação de mestrado, propriamente dita.

### 3.3 Estimativa do manguezal

As estimativas de área total ocupada por manguezais no litoral Nordeste brasileiro foram realizadas pioneiramente por Herz (1991), que publicou o primeiro mapa consolidado das áreas de manguezal do Brasil, baseado em imagens de Sensoriamento Remoto disponíveis para o ano de 1978. Trata-se do estudo mais detalhado publicado até então e que serviu como base para diversos programas de conservação e gerenciamento de recursos pesqueiros. Desde então, vários autores atualizaram aqueles resultados a partir de levantamentos locais e regionais sumarizados por Kjerfve e Lacerda (1993).

Neste estudo, com as devidas atualizações das técnicas, segue-se a mesma sistemática com uso de produtos de sensores remotos para a avaliação das condições atuais das áreas de manguezais, utilizando produtos do imageamento em níveis orbitais dos satélites LANDSAT 5 TM, LANDSAT 7 ETM+, IKONOS, QUIKBIRD e RADAR. Por meio das técnicas de PDI diversas composições coloridas foram elaboradas pela combinação das bandas espectrais para realçar as feições naturais de interesse que, no caso, foi principalmente a delimitação das áreas dos manguezais.

### **3.4 Levantamento bibliográfico e cartográfico**

O levantamento bibliográfico foi estendido durante todas as etapas subsequentes, com intuito de acompanhar as inovações conceituais e metodológicas referentes ao tema. Com esse objetivo, foram pesquisados exemplos com aplicações semelhantes visando uma melhor fundamentação teórica dos assuntos relacionados aos temas em estudo. Esta etapa compreendeu a consulta de trabalhos de enfoque regional e local na área. Para isso foram usados relatórios de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado, trabalhos publicados, mapas geológicos regionais e outros trabalhos pertinentes à região.

### **3.5 Uso das técnicas de geoprocessamento**

Esta etapa incluiu a pré-análise dos produtos cartográficos existentes para a área de estudo, onde se utilizaram técnicas de geoprocessamento, com o objetivo de diferenciar as diferentes unidades geoambientais existentes na área. O geoprocessamento foi utilizado na análise ambiental para estabelecer comparações de uma mesma paisagem entre os diferentes períodos de tempo. Entretanto, as paisagens respondem a múltiplas perturbações e seus efeitos são, na maioria das vezes, complexos e difíceis de serem previstos, e compreendidos; entretanto, o SIG auxilia dando suporte ao acompanhamento das mudanças da paisagem.

O geoprocessamento é uma metodologia que permitiu a criação destas correlações onde o uso do SIG propiciou uma visão completa da situação ambiental, pois antes tratava-se apenas de uma perspectiva holística que agora encontra-se operacionalizada (Xavier da Silva, 2001). Deste modo, foi possível identificar as relações entre as diversas entidades localizadas no mundo real a partir de suas relações de contingência, conexão, proximidade e

funcionalidade entre as partes componentes da situação ambiental, onde o próprio esforço de sua classificação pode perder seu caráter estanque.

### 3.6 Sensoriamento Remoto e PDI

As imagens orbitais do satélite LANDSAT 5TM, LANDSAT 7 ETM+, IKONOS, QUIKBIRD e RADARSAT foram tratadas com técnicas de PDI em ferramenta computacional específica, no software ER-Mapper v.7.1 (*Earth Resource Mapping Pty Ltd.*). O tratamento das imagens consistiu na elaboração de diferentes composições coloridas e realces. As imagens foram previamente ortorretificadas para eliminação de distorções de forma a possibilitar maior precisão na delimitação das florestas de mangues dentre outros ambientes. A partir das mesmas, foram confeccionados mapas diversos como mapa de variação da linha de costa, variação multitemporal dos bosques de mangues dentre outros. Tanto as imagens de satélite quanto os programas utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte GEOPRO (DG/UFRN).

Com relação ao Sensoriamento Remoto, as utilizações de imagens de satélites óticos e de RADAR auxiliaram no processo de classificação de padrões das paisagens e possibilitou a realização de um monitoramento, valendo-se da característica multitemporal das imagens. Sendo assim, um dos problemas fundamentais da pesquisa ambiental, o seu caráter intrinsecamente idiográfico, ou seja, as situações ambientais são únicas, no tempo e no espaço, foi alcançado de modo estatístico com o uso das imagens.

### 3.7 Levantamento de campo

Os diversos levantamentos de campo foram realizados com apoio de rádio navegação via satélite - GPS (*Global Positioning System*) por meio de pontos previamente estabelecidos nas imagens de satélite (Figuras 3.2 e 3.3, fotografias aéreas e carta topográfica, visando um melhor reconhecimento da área em questão, além da escolha dos locais e de acessos para o desenvolvimento da coleta específica de dados de campo.

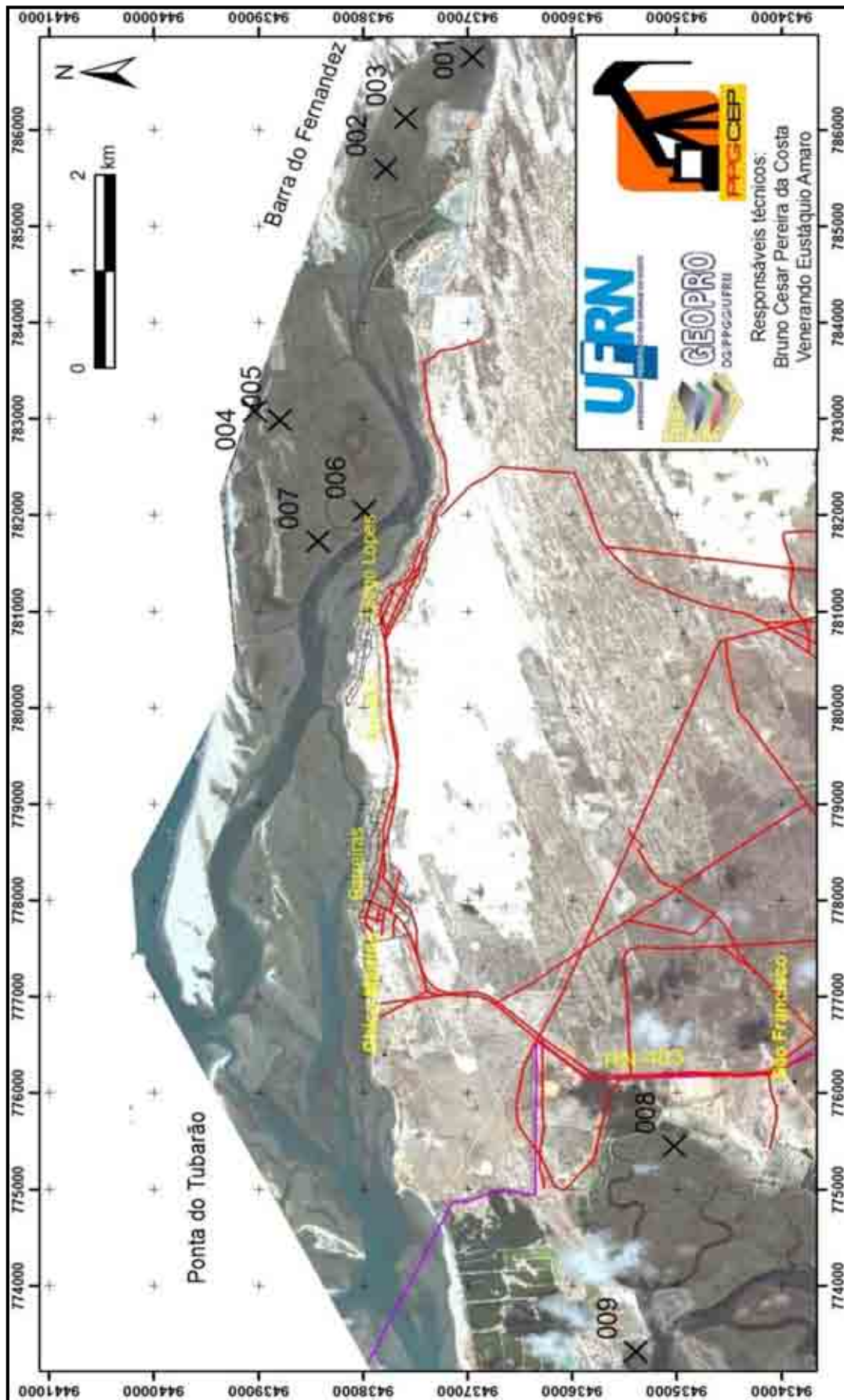


Figura 3.2: Mapa de campo utilizando carta imagem QUICKBIRD 2006 para o reconhecimento da área *in loco*.

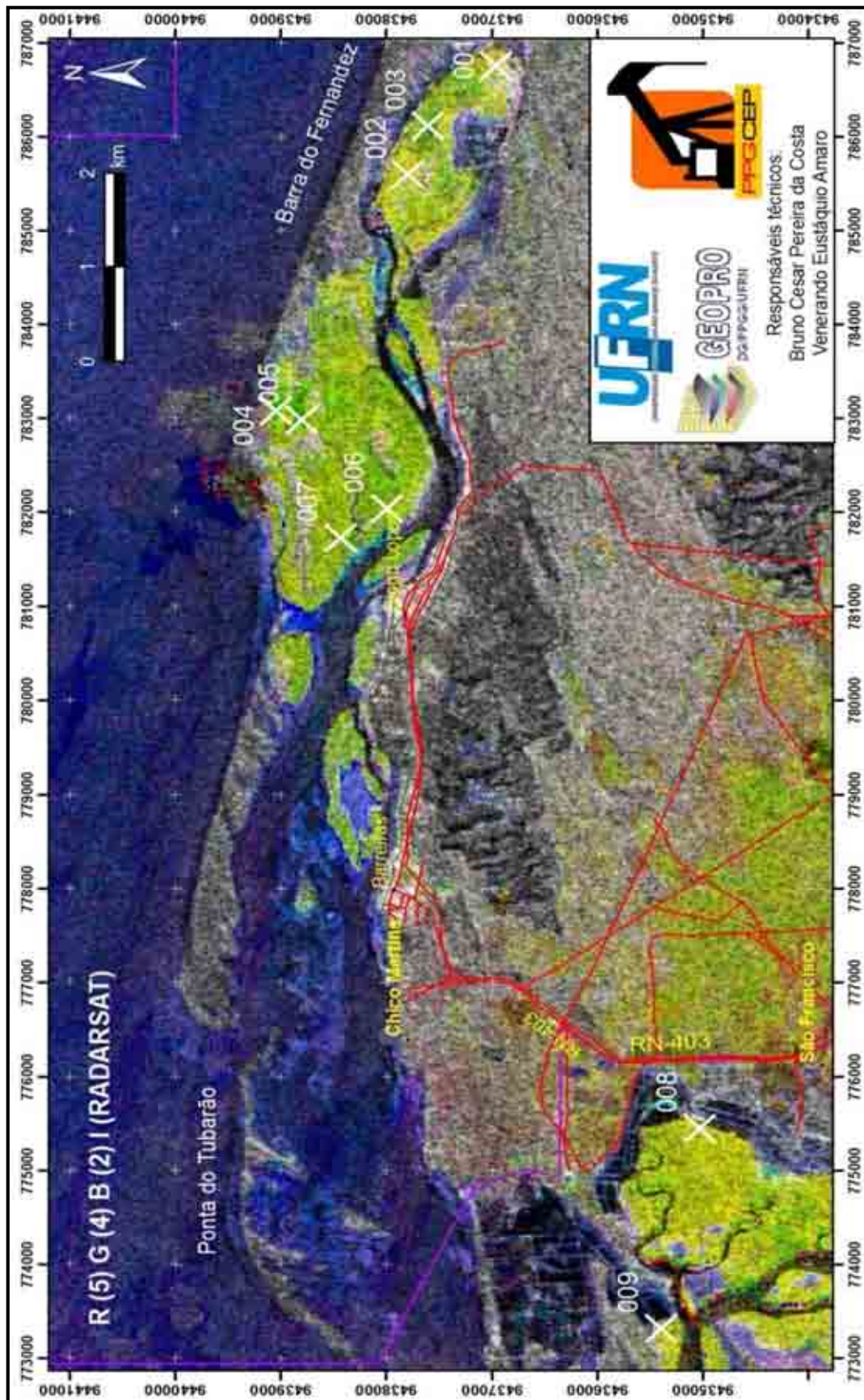


Figura 3.3: Mapa de campo utilizando carta imagem LANDSAT 5-TM 2009 R (PC1) G (PC3) B (PC2) I (RADARSAT) para a caracterização florística e fisionômica do Manguezal da RDS Ponta do Tubarão.

A compartimentação geoambiental em meio digital foi seguida do controle de campo através de incursões pela floresta de manguezal para identificação de grupos fitofisionômicos relacionados com as respostas espectrais da composição produzida. Os pontos correspondentes aos trechos de observação foram coletados com GPS e transpostos às imagens processadas para analisar as correspondências com a estrutura da floresta de manguezal em setores distintos do estuário (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1:** Pontos de visita e coletas em campo, na projeção UTM.

Pontos	Coordenadas X	Coordenadas Y
01	786761,30	9436954,73
02	785602,43	9437788,08
03	786123,27	9437599,28
04	783082,85	9439038,11
05	782991,70	9438797,22
06	782047,67	9437989,91
07	781735,17	9438432,63
08	775451,67	9435025,40
09	773319,73	9435394,51

Os levantamentos de dados estruturais da floresta de mangue (Foto 3.1 e 3.2) foram realizados fazendo-se medições da altura destas e classificação da espécie vegetal, conforme Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986) e Herz (1991).

**Foto 3.1:** Demarcação de área aleatória 15X15m no interior da floresta de mangue para levantamentos correspondentes aos indivíduos vegetacionais ocorrentes na área demarcada. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 3.2:** Aferição da circunferência na altura do peito (CAP), em todos os indivíduos nas áreas demarcadas para verificar o estágio de desenvolvimento de tais indivíduos. Foto: Bruno Costa. (2008).

### 3.8 Materiais de campo

No decorrer das atividades de pesquisa foram feitas diversas excursões de campo. Para isso se fez necessário o uso de vários equipamentos, entre eles, a máquina fotográfica digital SANSUNG DIGIMAX A502 para os registos fotográficos, mapa de campo, quadriciclo do tipo Yamaha YFM 350 Grizzly 4x4 para facilitar o deslocamento em solo, barco de pesca para acesso às ilhas barreiras recobertas por manguezais, GPS GARMIN de navegação, entre outros itens (Fotos 3.3, 3.4, 3.5).



**Foto 3.3:** Barco tradicional de pesca a motor tipo - **bote** – de médio porte construído em madeira, utilizado para locomoção nos canais de maré como também no mar paralelo à linha de costa. Foto: Bruno Costa. (2008).

**Foto 3.4:** Equipamento - **GPS de navegação - GARMIM**. Tal equipamento trabalha em qualquer condição de tempo, em qualquer lugar no mundo, 24 horas por dia e foi utilizado também como ferramenta de campo. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 3.5:** Embarcação de pequeno porte tipo - **Canoa** - construída em madeira, impulsionada a remo(s), a vela e ou por meio de uma vara, utilizada para locomoção e reconhecimento de áreas no interior do estuário. Foto: Bruno Costa. (2008).



### 3.9 Etapa laboratorial

Os trabalhos de laboratórios foram desenvolvidos de acordo com as necessidades e especificidade de tratamento dos dados. No Laboratório de Geoprocessamento — GEOPRO

(DG/UFRN), as fotografias aéreas, imagens orbitais dos satélites LANDSAT 5 TM, LANDSAT 7 ETM+, IKONOS, RADARSAT-1/SAR, foram tratadas com técnicas de PDI em ferramenta computacional específica, no caso o programa ER-Mapper v.7.1. Índices de bandas foram utilizados, principalmente testando índices de vegetação, a fim de detectar fitofisionomias características da vegetação, com posterior reambulação em campo para confirmação das unidades mapeadas. Neste momento, também realizou-se a integração de dados óticos com os dados de radar, objetivando extrair as vantagens de ambos sensores por meio de técnicas de álgebra com bandas.

No GEOPRO, elaborou-se, ainda, a série temporal de imagens orbitais e de fotografias aéreas a fim de detectar as alterações do ambiente, deposicional do manguezal. A referida série foi organizada e integrada em ambiente SIG (ArcGIS v.9.3). Neste mesmo ambiente, procedeu-se à espacialização do modelo de taxa de sedimentação do ambiente deposicional de manguezal, fazendo-se estimativas em função das áreas de manguezal existentes nos períodos imageados. Todos os programas e imagens utilizadas foram disponibilizados pelo GEOPRO.

### **3.10 Confeção de mapas temáticos**

Da integração dos produtos elaborados com os dados obtidos em campo pode-se efetivar a confecção de produtos imagens e confecção de cartas temáticas como os de vegetação, uso e ocupação do solo, geomorfologia, geologia entre outros. O monitoramento multitemporal foi utilizado para a caracterização da evolução morfodinâmica da linha de costa e ilhas barreiras, assim como das tendências de expansão/contração das unidades de paisagem, principalmente dos manguezais que são o alvo deste trabalho, devido à influência dos processos antrópicos e/ou naturais.

Os dados procedentes das etapas anteriores (digitalização, pré-processamento, processamento e vetorização do material cartográfico, das imagens de satélite e dados auxiliares) conformam o banco de dados, do qual foi possível gerar os mapas temáticos necessários a esse trabalho e dar procedência à etapa seguinte de processamento e análise dos dados.

Os mapas temáticos elaborados foram: Mapa Base; Mapa de Controle de Campo; Mapa de Compartimentação Ambiental Ligada ao manguezal da RDS Ponta do Tubarão 1989 a 2009; Mapa de Análise Multitemporal da Evolução da Linha de Costa 1989 a 2009; Mapa de Análise Multitemporal da Evolução dos Campos de Dunas Móveis 1989 a 2009; Mapa de análise multitemporal do manguezal da RDS Ponta do Tubarão 1989 a 2009.

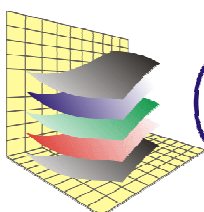


---

# CAPÍTULO IV

*O Ecossistema Manguezal*

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

## 4.1 O manguezal

Os manguezais ocupam uma fração significativa do litoral brasileiro, cerca de 92% da linha de costa ( $\pm 6.800$  km), estendendo-se do extremo norte no Oiapoque, Estado do Amapá ( $4^{\circ} 30'N$ ), até seu limite sul na Praia do Sonho em Santa Catarina ( $28^{\circ} 53'S$ ). Este ecossistema desempenha papel fundamental na estabilidade da geomorfologia costeira, na conservação da biodiversidade e na manutenção de amplos recursos pesqueiros, geralmente utilizados pela população local. Particularmente ao longo do litoral nordeste, devido ao clima semi-árido (Marins *et al.*, 2003), às condições oligotróficas das águas costeiras e à importância da pesca artesanal para a população litorânea (Lacerda e Marins, 2002), essas propriedades dos manguezais são ressaltadas, tornando-os ecossistemas de imenso valor ecológico e ambiental.

Baseado nessas propriedades, a legislação brasileira considera as áreas de manguezal como áreas de preservação permanente. Entretanto, apesar dos esforços para sua conservação, os manguezais encontram-se permanentemente ameaçados por diversas atividades humanas desenvolvidas tanto no litoral, quanto no interior. Os principais vetores potenciais geradores de impactos sobre os manguezais incluem a barragem de rios, a agropecuária, incluindo a aquicultura, e a urbanização, que resultam em pressões sobre o balanço de sedimentos e águas em estuários, fluxo de nutrientes e poluentes, além do desmatamento direto das florestas. Os efeitos sobre o ambiente costeiro se dão através da erosão e sedimentação, eutrofização e mudanças nas cadeias alimentares e na estrutura de comunidades (Lacerda, 2002). Entretanto, a avaliação do impacto dessas atividades sobre os manguezais depende de levantamentos detalhados e confiáveis sobre a evolução da área de manguezal ao longo do litoral e da interpretação de sua variação em relação ao desenvolvimento das diferentes atividades antrópicas na região.

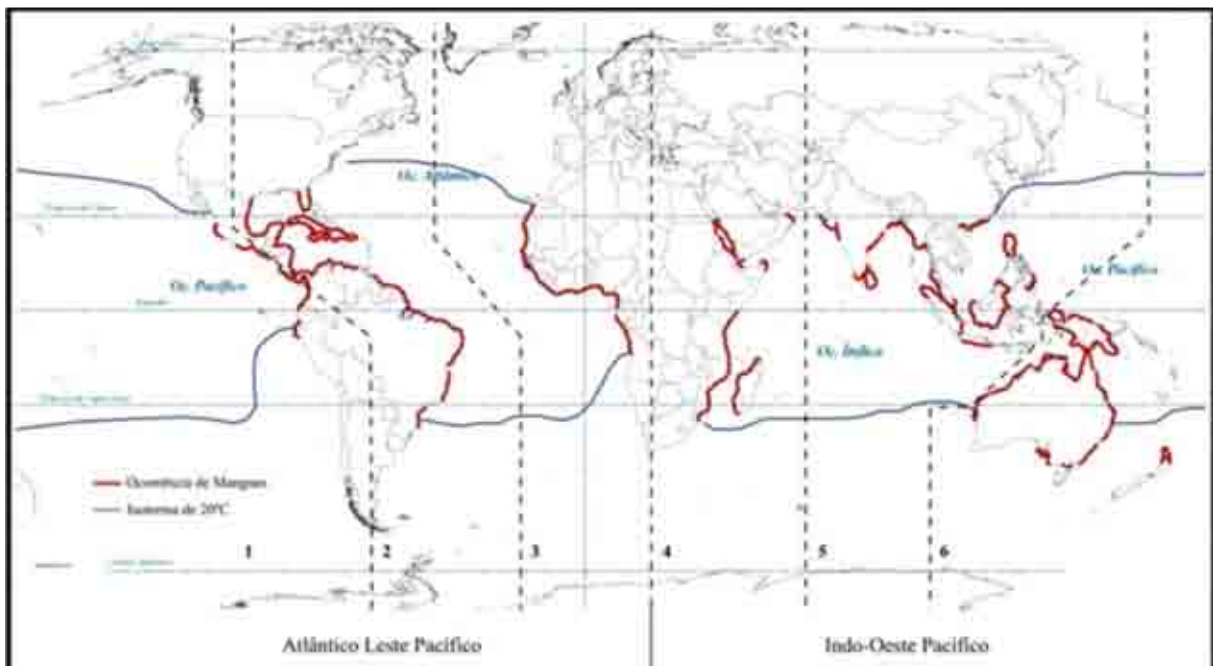
Os manguezais apresentam elevada fragilidade frente aos processos naturais e às intervenções humanas na zona costeira, sobretudo aqueles localizados na porção Nordeste do Brasil onde as condições climáticas adversas e um processo acelerado de ocupação da zona costeira, que inclui a carcinicultura e a expansão urbana, dentre outras atividades, resultam em pressões ambientais permanentes sobre esses ecossistemas.

Nos últimos anos, o uso e a ocupação das regiões estuarinas tiveram um grande aumento devido à sua importância econômica para a população litorânea. Em vários países sob clima tropical, as atividades de aquicultura e crescimento urbano aparecem como fatores antrópicos relevantes para a modificação dos processos naturais envolvidos na evolução dos manguezais. No entanto, fenômenos naturais, também estão envolvidos, tais como a migração

de dunas e de barras litorâneas em curto prazo, e a flutuação relativa do nível do mar ou as modificações climáticas em prazo mais longo. Esses fatores, atuando de forma individual ou em conjunto, podem alterar de forma significativa os ecossistemas costeiros. Alterações na intensidade desses processos podem levar à modificação na cobertura de manguezais tornando-se necessário seu monitoramento de forma sistemática.

## 4.2 O manguezal e sua distribuição geográfica mundial

A presença de manguezais ao nível global restringe-se à zona intertropical entre as latitudes 30° N e 30° S. Esses ecossistemas estão limitados pela isoterma de 20°C de temperatura da água do mar que, por sua vez, é controlada pelas correntes marinhas e que pode oscilar entre o inverno e o verão. Há exceções expressivas da ocorrência de mangues fora dos limites subtropicais; nas Bermudas (32°20'N) e Japão (31°22'N), ao Sul da Austrália (38°45'S), Nova Zelândia (38°03'S) e ao Leste da costa do Sul da África (38°45'S). Dentro dos limites descritos, os manguezais apresentam distribuição mais restrita na costa Oeste das Américas e da África quando comparadas com a costa Leste destes continentes. No Oceano Pacífico, as áreas de ocorrência dos mangues são limitadas à Oeste e estão ausentes em várias ilhas oceânicas (Spalding *et al.*, 1997).(Figura 4.1).



**Figura 4.1:** Distribuição global dos manguezais ao longo das seis regiões biogeográficas, sua distribuição esta associada com a isoterma de 20°C durante o inverno. No verão a duas isotermas migram no sentido dos pólos. Estas também influenciam as correntes marinhas. Adaptado de Spalding *et al.*, (1997).

A distribuição das diversas espécies de mangue está baseada na presença e ausência de cada espécie dentro das seis eco-regiões globais, propostas por Spalding *et al.*, (1997): (1) Oeste da América; (2) Leste da América; (3) Oeste da África; (4) Leste da África e Madagascar; (5) Indo-Malásia; e (6) Australiana e Leste do Pacífico. Além desta divisão, existe ainda outra que divide os dois hemisférios globais, o Atlântico Leste Pacífico (ALP) e o Indo-Oeste Pacífico (IOP). Neste último, a diversidade de espécies é bem maior que a do primeiro hemisfério. Com 58 e 13 espécies naturais de mangues, respectivamente, o IOP tem cerca de quatro vezes mais espécies que o ALP. Em escala global, os mangues são limitados, de maneira geral, pela temperatura, mas na escala regional, a área e a biomassa das florestas de mangue podem variar com relação às condições hidrológicas e oceanográficas, ou seja, em função das diversas condições climáticas e outras variáveis oceanográficas, os mangues podem assumir características específicas aos diversos compartimentos geoambientais encontrados pelo mundo.

### **4.3 O manguezal e sua distribuição geográfica no Brasil**

As florestas de manguezais do Brasil cobrem aproximadamente 1,38 milhões de hectares (13.800 km<sup>2</sup>), o que corresponde a cerca de 50% da área total de mangues das Américas (Kjerfve e Lacerda, 1993) e representa a segunda maior área de manguezal do mundo. As regiões do sul e sudeste da Ásia estão em primeiro lugar, com 7.173 km<sup>2</sup> (Spalding *et al.*, 1997). Devido à expressão continental do Brasil, sua extensa linha de costa e larga diversidade de comunidades naturais, incluindo manguezais, o litoral brasileiro pode ser subdividido aproximadamente em quatro setores (Figura 4.2), com base na climatologia e nos critérios geológicos e geomorfológicos da zona costeira. Esses setores são chamados de eco-regiões dentro de uma escala para a costa brasileira, as quais são definidas como um grupo de comunidades naturais que estão geograficamente delimitadas com particularidades na sua dinâmica ecológica na qual as interações ecológicas são processos fundamentais para a manutenção de sua própria sustentabilidade em longo prazo (Lacerda, 2005).



**Figura 4.2:** Mapa de divisão das eco-regiões brasileiras. Sub-divisão baseada nas características climatológicas, geomorfológicas e geológicas. Modificado de Lacerda (2005).

Costa Norte Quaternária: Estende-se do Oiapoque no Estado do Amapá, até o Rio Parnaíba, no Piauí, incluindo o estuário do Rio Amazonas. O clima é tropical-úmido com variação de precipitação anual de 1.200 a 2.800 mm. Apresenta típica distribuição sazonal, com invernos secos e verões chuvosos. Anualmente, a temperatura média varia de 24° a 27°C. A costa é caracterizada por extensa planície quaternária dominada por mais de 800.000 ha de florestas de mangue (Herz, 1991) e extensos brejos sob um regime de macromaré (4 a 8 metros). A plataforma continental é também ampla, com aproximadamente 320 km de largura, compreendendo uma área superior a 300.000 km<sup>2</sup> e é dominada pela Corrente Norte do Brasil (CNB) e pelos fluxos estuarinos dos Rios Amazonas e Orinoco, com fortes correntes paralelas à costa, resultando assim numa redistribuição lateral dos sedimentos ao longo da costa. As entradas de água doce são expressivas e marcadas por um típico padrão de fluxo sazonal unimodal incluindo os rios Orinoco (vazão aproximada 35.000 m<sup>3</sup>/s), Amazonas e Tocantins (vazão aproximada 135.000 m<sup>3</sup>/s) como os principais contribuintes. A média anual de descarga de água doce é de aproximadamente 190.000 m<sup>3</sup>/s.

Costa Nordeste Semi-árida: Estende-se de Camocim, Estado do Ceará (3°65'S) até a Ilha de Itamaracá, Pernambuco (7°30'S). O clima é predominantemente semi-árido, com média anual de precipitação de 800 mm. As entradas de água doce apresentam baixos valores, a média anual da descarga total dos rios é inferior a 1.000 m<sup>3</sup>/s, e apresenta grande sazonalidade. A maior descarga de água doce para o mar ocorre na estação chuvosa, em geral no final do ano em dezembro e vai até o mês de maio, ocorrendo o oposto durante a estação seca, de junho a novembro. As feições costeiras são dominadas por praias arenosas, campos de deflação eólica e dunas recentes e antigas, linhas de recifes próximas aos estuários, lagoas e lagoas costeiras. Nesse setor, os mangues ocorrem em pequenas extensões principalmente em estuários onde são afetados por regime de mesomaré (2 a 4 metros). A plataforma continental é bordejada por praias arenosas, com largura estreita, variando de 20 a 50 km. Atualmente esta eco-região comporta cerca de 60% da área das fazendas de camarão do país.

Costa Nordeste-Leste Úmida: Corresponde à região costeira entre a Ilha de Itamaracá (7°30'S) até a Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (22°S). O clima é tropical úmido com média anual da precipitação de 1.000 a 1.500 mm. Porém, a porção sul deste setor registra precipitações inferiores a 700 mm, causadas pela ocorrência de ressurgências costeiras.

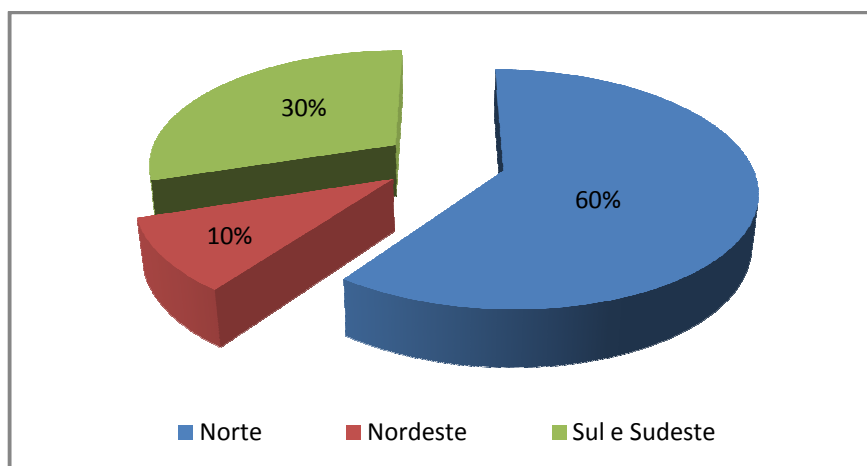
Nas proximidades do Estado da Bahia, as precipitações são da ordem de 1.800 a 2.400 mm. A zona costeira é caracterizada por extensos planos arenosos quaternários. Mais de 60 lagoas costeiras ocorrem nessa eco-região. Apresenta mudança de regime de mesomaré para micromaré aproximadamente na metade do setor. Os mangues aparecem de forma expressiva nas desembocaduras dos rios e nas costas protegidas. A plataforma continental é bordejada por praias arenosas, com largura estreita variando de 15 a 90 km estendendo-se até o Banco de Abrolhos (20°S). As descargas dos rios são na ordem de 7.400 m<sup>3</sup>/s, tendo o Rio São Francisco como principal contribuinte.

Costa Granítica Sul: Estende-se da Baía de Guanabara no Rio de Janeiro (22°S) até a Praia do Sonho, em Santa Catarina (28°S). O clima é tropical úmido com médias anuais que variam de 1.000 a 1.500 mm. A costa é caracterizada pela ocorrência de afloramentos de rochas graníticas que seguem da Serra do Mar até o oceano, formando um litoral independente com várias baías protegidas e com cobertura total de florestas de mangues de cerca de 50.000 ha. A plataforma é estreita com largura de 20 a 50 km. Extensões dos corpos graníticos para o mar resultam em mais de 2.000 pequenas ilhas próxima à costa. A entrada de água doce é da ordem de 1.100 m<sup>3</sup>/s.

Para o sul dessa região, estende-se a costa quaternária sul, cerca de 600 km até o limite com o Uruguai. Com clima temperado, essa região não suporta a existência manguezais.

Todos os dados apresentados acima, referentes às condições dos setores ambientais do Brasil, foram compilados por Lacerda (2005).

Herz (1991) publicou o primeiro mapa consolidado das áreas de manguezal do Brasil, baseado em imagens de sensoriamento remoto disponíveis para o ano de 1978 e quantificou as áreas onde há sua ocorrência (Figura 8). De acordo com as compartimentações regionais propostas por Herz (1991), o Brasil apresenta uma divisão de áreas de manguezais em 60% para Região Norte, 10% para Região Nordeste e 30% para as regiões Sudeste e Sul, sobre uma área total de 10.123,76 Km<sup>2</sup>. (Figura 4.3).



**Figura 4.3:** Gráfico da distribuição do percentual de área ocupada por manguezais no Brasil.  
Fonte: Adaptado de Herz (1991).

#### 4.4 Principais funções dos manguezais

É comum denominarmos os manguezais como os verdadeiros "berçários da natureza", isto porque diversas espécies de peixes marinhos, como a tainha, o robalo e o baiacu, por exemplo, utilizam as águas do manguezal para desovarem. Os filhotes dos peixes, chamados alevinos, nascem e se desenvolvem neste ecossistema antes de voltarem para o mar, pois no mangue eles encontram um ambiente com muito alimento e livre de predadores. Com a destruição dos manguezais, estas espécies de peixe, muitas de interesse econômico, não têm lugar para se reproduzirem. Como podemos perceber, preservar o manguezal é importante não só para as espécies que nele habitam, mas também para várias outras que dele necessitam, inclusive nós. O ecossistema manguezal provém muitos outros serviços ambientais e ecológicos, entre eles:

- Formam uma barreira de proteção das áreas ribeirinhas diminuindo as inundações;
- Protegem a terra ante a força do mar, retendo sedimentos do solo;
- Filtram os poluentes, reduzindo a contaminação das praias;
- É uma grande fonte de alimento para a população ribeirinha;

- Fornece proteção aos alevinos;
- Constitui-se enorme gerador de plâncton;
- Grande fonte alimentar aos peixes, moluscos e crustáceos, principalmente;
- Fonte de produtos naturais diversos;
- Proteção contra enchentes, furacões e ondas fortes;
- Proteção e controle contra erosão pelo amortecimento da energia das através das raízes das plantas;
- Proteção e controle contra salinização de lençóis freáticos;
- Suporte biológico e físico a outros ecossistemas costeiros;
- Local de refúgio, desenvolvimento e alimentação de peixes – em especial marinhos – crustáceos e outros;
- Proteção e conservação de habitares de fauna de natureza rara;
- Armazenamento e reciclagem de matéria orgânica, nutrientes e poluentes;
- Exportação de matéria orgânica e de nutrientes, através da dinâmica das marés, para ecossistemas costeiros próximos, constituindo a base da cadeia trófica com espécies de importância econômica e/ou ecológica;
- Aumento do desenvolvimento da pesca em geral através do fornecimento de detritos;
- Manutenção, regulamento e diversificação da biodiversidade local;
- Regulação biológica de processos e funções ecossistêmicas;
- Produção de oxigênio;
- Influência nos climas locais e no clima global;
- Habitat e suporte a atividades de subsistência de comunidades tradicionais (pescadores, marisqueiras, índios e agricultores);
- Valores espirituais, culturais, religiosos e hereditários;
- Inspiração artística;
- Fonte de informação educacional e científica;
- Turismo e recreação;
- Vinculação a rotas migratórias de aves.

Apesar de todas essas importantes funções, os manguezais eram comumente considerados, no passado, como “terras baldias”, chegando-se inclusive a afirmar que deveriam ser transformados em terras “úteis e produtivas”. Dessa forma, os manguezais são atualmente um dos ecossistemas mais devastados, e estão desaparecendo de forma rápida em vários países, pois foram ao redor do planeta gradativamente ocupados, urbanizados e, mais recentemente,

degradados pela utilização para a carcinicultura. Desta forma, fica bem evidente que tais benefícios não são superiores ao desejo que os humanos têm de lucrar financeiramente.

#### 4.5 Fauna

A fauna dos manguezais é derivada dos ambientes marinhos e terrestres adjacentes. A distribuição é composta principalmente de elementos de origem terrestre como os insetos, aves e mamíferos que ocorrem nas copas das árvores acima da linha d'água e em áreas que não sofrem influências das marés. De maneira geral, estas espécies não apresentam adaptações específicas a este ecossistema, porém, muitas vezes, usufruem-no para alimentação e às vezes para reprodução. Em troca, essa fauna contribui com o insumo de nutrientes através de suas fezes e com a polinização.

Nas áreas que sofrem com a ação das marés distribuem-se elementos da fauna tolerante à salinidade, como moluscos (Foto 4.1), crustáceos e peixes. Os caranguejos como o chama-maré (Foto 4.2), goiamum, uçá e aratu, entre outros, vivem nos substratos protegidos pelas raízes dos mangues, alimentando-se de organismos presentes nos sedimentos e folhas. Em períodos de maré alta, os caranguejos se enterram em tocas, o que permite uma circulação de água melhorando as condições anóxicas dos sedimentos lamosos estuarinos.

**Foto 4.1: Molusco da Classe Gastropoda.** Várias espécies podem ser encontradas em ambientes de manguezal. Possuem o corpo protegido por uma *concha*, com formato helicoidal sobre o lado direito embora algumas formas tenham evoluído uma concha mais simples. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.2: *Uca pugnax* - chama-maré** - Tais caranguejos são geralmente pequenos, sendo os machos possuidores de uma das pinças bem maior que a outra. Costumam viver em manguezais e na zona entre marés, praias arenosas protegidas, baías e de estuários. Foto: Bruno Costa. (2008).

De forma geral, a fauna dos ambientes de manguezais pode ser dividida em cinco comunidades principais:

- **Canais de maré:** zona sempre inundada com porções mais profundas e com gradiente de salinidade que diminui da desembocadura do rio em direção ao interior (Sampaio, 2002). Apresenta como principais grupos: Peixes: tainha (*Mugil spp.*), carapeba (*Diapterus, sp.* *Eugerres sp.*); Crustáceos: Siris (*Callinectes spp.*), camarões de água doce e salgada (*Macrobrachium sp.*, *Penaeus spp.*); e plancton de origem eminentemente marinha.
- **Margem de canais de maré:** zona descoberta durante o período de maré baixa. Apresenta como principais grupos: Crustáceos Decápodos: Siris (*Callinectes spp.*), camarões de água doce (*Macrobrachium sp.*) e salgada (*Penaeus spp.*), e particularmente caranguejos do gênero *Uca spp.* (Foto 4.2); moluscos bivalvos: (*Venus spp.*, *Anomalocardia brasiliana*, *Crassostrea spp.*, *Arca sp.*; *Tagelus plebeius*, *Iphigenia brasiliana*); e conta ainda com a presença de diversas aves, principalmente garças, gaivotas, gaviões e socós que buscam alimentos nos bancos expostos na maré baixa.
- **Base dos bosques:** áreas sob as copas das árvores e raízes de mangues, onde o substrato é mais duro. Apresenta como principais grupos: Crustáceos decápodes, particularmente *Goniopsis cruentata*, *Ucides cordatus*, *Cardisoma spp.*; moluscos gastrópodes, *Neritina spp.*, *Bulla spp.*, e bivalvos *Mytella spp.*; e nas áreas mais bem preservadas e extensas, répteis (jacarés) e mamíferos (guaxinim).
- **Troncos e raízes aéreas:** Superfícies ocupadas por cracas e ostras (*Crassostrea spp.*), gastrópodes (*Littorina angulifera*) e com uma flora de algas associadas e líquens crescendo nos troncos, ramos e raízes aéreas.
- **Copa das árvores:** As copas representam uma interface entre o ambiente marinho e o terrestre (Kjerfve e Lacerda, 1993; Lacerda, 2002). Cupins, formigas, grilos, e outros insetos são abundantes. Aves como garças e socós fazem ninhos enquanto mergulhões, gaivotas, gaviões, entre outras aves, usam as copas durante a caça. Diversas espécies de cobras e alguns anfíbios também ocorrem neste ambiente. Plantas epífitas, como orquídeas e bromélias, além de musgos e líquens de origem na Mata Atlântica também ocorrem nas copas das árvores de mangue.

## 4.6 Flora

A flora dos manguezais possui características específicas que tornam esses ecossistemas funcional e estruturalmente únicos. Características morfológicas e adaptações das árvores incluem raízes aéreas, dispersão de propágulos pelas correntes controladas pelas marés, rápido crescimento de copa, ausência de anéis de crescimento, eficiente mecanismo de retenção de nutrientes, resistência à ambientes salinos, retentor de água e importante contribuinte no balanço de carbono (Alongi, 2002).

Em todo o mundo, existem apenas 28 gêneros e cerca de 70 espécies de mangues, sendo 17 exclusivamente presentes nesse habitat. Isso reflete uma baixa diversidade genética devido às difíceis condições encontradas nos ambientes que sofrem com as oscilações de marés, onde aparentemente existem menos oportunidades para diversificação e seleção de material genético. No entanto, é impressionante a dominância, em todo o mundo, do gênero *Rhizophora* L. (Duke *et al.*, 1998).

No Brasil, o ecossistema manguezal pode ser representado por uma associação de espécies do gênero *Rhizophora*, *Avicennia*, *Lagunculária* e *Conocarpus*. Com certa frequência, também aparecem espécies do gênero *Hibiscus*, *Acrostichum* e *Spartina* (Herz, 1991). No Estado do Ceará, esta associação é bastante marcante com variações que são regidas pelas condições ambientais locais, que podem variar ao longo da costa, e pelas características de uso das respectivas bacias hidrográficas que também impõem condições para o habitat da fauna e flora dos mangues.

Via de regra, as florestas de manguezal do litoral nordeste do Brasil ocorrem como formações de franjas ribeirinhas e, em menor escala, ocupando bacias salinas na planície costeira. Florestas anãs de mangues são comuns em áreas de elevada salinidade. Apenas quatro espécies de árvores de mangue foram registradas na região: *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. (Cintrón e Schaeffer-Novelli, 1992; Kjerfve e Lacerda, 1993). Entretanto, dependendo da região, uma ou outra espécie pode ser pouco expressiva ou até mesmo ausente. Isso ocorre em função do tamanho da região estuarina e de suas características ambientais. Por exemplo, o barramento artificial ao longo das bacias hidrográficas é apontado como um dos principais causadores de mudança nos padrões de circulação estuarina devido à retenção do aporte de água doce e sedimentos, resultando em alterações na distribuição dos mangues (Lacerda e Marins, 2002). Outro grande modificador das condições ambientais é a dinâmica sedimentar costeira, particularmente afetada por mudanças globais e regionais, que também resultam na alteração da distribuição e na composição dos mangues (Marins *et al.*, 2002).

Na escala local, a ocorrência das diferentes espécies de vegetação é controlada pela salinidade e topografia, que neste caso não varia bastante entre uma região estuarina e outra possibilitando o estabelecimento de um padrão geral de distribuição espacial (Lacerda, 2002). Segue-se uma descrição sucinta das principais espécies de mangue encontradas no litoral do nordeste do Brasil, detalhes da biogeografia destas espécies podem ser encontrados em (Kjerfve e Lacerda, 1993; Lacerda, 2002).

A *Rhizophora mangle* L. (Foto 4.3), também conhecida popularmente como mangue verdadeiro, tem como principal característica suas raízes aéreas (Foto 4.5) que, partindo do tronco em formato de arcos, atingem o solo, o que permite uma maior sustentação em solos pouco consolidados. Pode alcançar uma altura de até 19 metros e apresenta um diâmetro médio de 30 cm dentro da zonação estuarina.

Ao longo do perfil intermaré, ela pode ser encontrada nas porções mais baixas e médias. A folha tem formato arredondado e às vezes se mostra com aspecto desgastado. Pode ser encontrada na forma de árvores e arbusto.



**Foto 4.3:** Detalhe de indivíduo adulto de *Rhizophora mangle* L. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.4:** *Rhizophora mangle* L. - **Propágulos** - estruturas constituídas basicamente por células meristemáticas que se desprendem de uma planta adulta para dar origem a uma nova planta, geneticamente idêntica à planta de origem (clones). Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.5:** *Rhizophora mangle* L. - **Flor Monóica** - Elemento de reprodução das fanerógamas. Flor que possui gametas masculino e feminino (Monóica). Foto: Bruno Costa. (2008).

**Foto 4.6:** *Rhizophora mangle* L. – **Raízes aéreas respiratórias ou pneumatóforo** - Nesses ambientes, o solo é geralmente muito pobre em gás oxigênio. Essas raízes possuem poros que permitem a absorção de oxigênio atmosférico. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.7:** Detalhe da morfologia foliar de *Rhizophora mangle* L. A folha é a principal sede de elaboração de alimentos orgânicos sob a ação da luz (fotossíntese) e eliminação de água na forma de vapor (transpiração). O limbo possui lâmina simples de forma elíptica, oval de ponta pequena. Onde **A**, trata-se da face abaxial (inferior) e **B**, da face adaxial (superior). Foto: Bruno Costa. (2008).





**Foto 4.8:** Detalhe de **Plântula** de *Rhizophora mangle* L.. Embrião vegetal que começa a desenvolver-se na germinação da semente; pequena planta recém-nascida. Foto: Bruno Costa. (2008).

O gênero *Avicennia* apresenta duas espécies ocorrentes no litoral cearense, a *A. schaueriana* e a *A. germinans* (Foto 4.14). São popularmente chamadas de canoé e alcançam uma altura média de 11 metros com tronco de 20 centímetros de diâmetro. A diferença básica das duas espécies é a forma das folhas, as de *A. germinans* de formato pontiagudo, enquanto em *A. schaueriana*, as folhas são arredondadas. As duas espécies diferem da *Rhizophora mangle* L. pelas formas mais regulares de suas raízes que são subaéreas e dotadas de pneumatóforos e pela cor verde claro de suas folhas. Ocorrem como árvores e arbustos geralmente na porção baixa do estuário e no perfil intermaré na posição média a alta.



**Foto 4.9:** Detalhe de indivíduo adulto de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.10:** Detalhe da flor de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.11:** Detalhe do fruto de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.12:** Detalhe de Plântula de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.13:** Detalhe da morfologia foliar de *Avicennia germinans* L.. O limbo possui lâmina simples de forma cuneiforme e de cunha de base aguda. **A:** face adaxial (superior) e **B:** face abaxial (inferior). Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.14:** Detalhe da raiz de *Avicennia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).

A *Laguncularia racemosa* (Foto 4.15), conhecida pelos ribeirinhos como mangue branco, pode atingir 12 metros de altura e diâmetro do tronco de 30 centímetros. Sua folha oval apresenta pecíolo e nervura central avermelhados com um tom mais escuro que as espécies descritas acima. Estão na porção baixa e intermediária dos estuários e no perfil de marés, na posição de média e alta. Podem se apresentar como arbustos ou árvores.



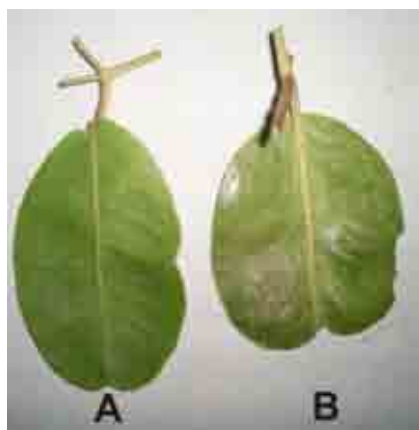
**Foto 4.15:** Detalhe de indivíduo adulto de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.16:** Detalhe da flor de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.17:** Detalhe do fruto de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.18:** Detalhe da morfologia foliar de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. O limbo possui lâmina simples de forma truncada de ápice em esquadria. **A:** face adaxial (superior) e **B:** face abaxial (inferior). Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 4.19:** Detalhe de Plântula de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.. Foto: Bruno Costa. (2008).

*Conocarpus erectus* L. é a espécie que habita a porção mais alta do perfil de maré, é encontrada na fração mais arenosa e topograficamente mais elevada do leito do rio e é chamada popularmente de mangue de botão. Pode atingir alturas de até 10 metros, seu tronco atinge um diâmetro de até 30 centímetros e tem forma de “V”, razão pela qual o torna útil na fabricação de pequenas embarcações construídas pela comunidade ribeirinha. Tal espécie não é encontrada na área de estudo.

#### 4.7 Problemas ambientais comuns aos manguezais

Embora exista uma grande quantidade de estuários, as diferenças fisiográficas e de uso e ocupação do solo fazem com que cada um destes seja considerado como único. A principal característica de similaridade consiste nos problemas ambientais que são comuns a todos, e que consistem principalmente em: sobrecarga de nutrientes, contaminação por organismos patogênicos e substâncias químicas tóxicas, alteração no fluxo de água doce, perda de hábitat e diminuição da biodiversidade. Embora a ausência de estudos sistemáticos nos impeça de tirar conclusões regionais ou nacionais com relação ao estado dos estuários, os problemas mencionados tendem a causar diminuição da qualidade das águas, dos recursos vivos e, em geral, de todo o bem estar do ecossistema. Estes aspectos chaves de manejo são comuns em algumas zonas costeiras através do país. Portanto, a transferência e o intercâmbio de informações científicas entre as agências ambientais (Nacional, Estaduais e Municipais) e outros atores da zona costeira (Centros de Pesquisa, ONGs, População) é crítico para

assegurar o triunfo na restauração e proteção do bem estar dos estuários. Através dos anos o impacto desses problemas é claramente visível. Os agentes patogênicos podem comprometer a aqüicultura e a pesca em geral enquanto que o enriquecimento exagerado de nutrientes contribui para a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido.

Apesar dos estuários do nordeste do Brasil apresentarem também todos os impactos listados anteriormente, as principais pressões ambientais capazes de plena interpretação por sensoriamento remoto e mapeamento das áreas de manguezais são aqueles impactos que causam alterações nos fluxos hidrodinâmicos e de sedimentos e conversão de áreas de mangue para outros usos, como a carcinicultura e salinas.

O bem estar e a biodiversidade dos sistemas marinhos e estuarinos dependem da manutenção da qualidade destes habitats. As mesmas áreas que freqüentemente atraem o desenvolvimento humano também contribuem com alimento, refúgio, corredor migratório e criatório para uma variedade de organismos costeiros e marinhos. Em adição, estes também desenvolvem outras funções importantes tais como armazenamento de água e proteção de inundações. Os ecossistemas podem ser degradados através da perda de hábitat tal como a conversão de uma área com algas marinhas em uma ilha de material dragado (p.ex. Porto de Suape) ou por alterações na estrutura, função ou composição das comunidades. As ameaças aos habitats incluem a conversão de espaços abertos de terras e bosques para o desenvolvimento comercial e agrícola, construção de estradas, marinas, represas e canalizações. Todas estas atividades podem causar aumento do transporte de sedimentos, nutrientes e substâncias químicas.

Exemplos do Plano Nacional dos Estuários dos EUA (PNE) mostram que a distribuição de pântanos na Baía de Galveston, entre os anos 1950-1989, apresentou uma diminuição de área da ordem de 19% (33.400 acres) em função da sedimentação, contaminação e introdução de espécies exóticas de vegetação. A sedimentação e a invasão de outras espécies vegetais causaram uma deposição na baía Morro na Califórnia de mais de 4 metros, que alterou a hidrodinâmica desta baía, eliminando a maior parte das dunas costeiras de seu entorno, além da perda de 25% da capacidade do fluxo de maré, sendo 66% desta, na área do delta. Evidências de habitats destruídos também são encontradas na Baía Casco e sua bacia hidrográfica em Maine, destacando: o Lago New Meadows que era um estuário e que agora sofre de florescimento de algas devido à diminuição do fluxo das marés; as áreas úmidas de Long Creek que foram totalmente degradadas em função da construção de estradas; quatro represas na parte principal do Rio Roéal que representam barreiras para a pesca; o arroio Capisic que é atualmente intransitável devido a uma represa e à redução do fluxo de água.

A alteração do regime natural de fluxo nos afluentes pode ter efeitos significativos na qualidade das águas e na distribuição dos recursos vivos (fauna e flora) nos estuários recipientes. A água doce é um recurso limitado em muitas regiões do mundo, incluindo o litoral semi-árido do Nordeste brasileiro. O uso humano desses recursos tem alterado o volume de água em certos estuários, que podem causar impactos de grande magnitude na saúde e na distribuição da biota. A diminuição do fluxo fluvial além de alterar os níveis de salinidade, reduz o transporte de nutrientes e sedimentos que são importantes para a produtividade geral do estuário.

Nos EUA a bacia de drenagem da laguna de "Indian River", na Florida, duplicou de tamanho devido à construção extensiva de sistemas de drenagem. Em função disso, durante o período chuvoso há a entrada de maior quantidade de água doce causando alterações na salinidade, que se reduz em áreas consideráveis. Por outro lado, durante as temporadas secas, ocorre uma diminuição do fluxo fluvial e aumenta significativamente a salinidade. Estas grandes flutuações na salinidade podem afetar adversamente muitas espécies estuarinas que somente sobrevivem dentro de uma variação estreita de salinidade. A área de Corpus Christi Bay, Texas, sofreu um período de secas bastante prolongado, reduzindo os níveis das represas e levando toda a região a ser submetida a racionamento. Este manejo que reduziu bastante o fluxo fluvial causou uma grande elevação da salinidade geral do estuário, semelhante ao que ocorreu em grande parte do litoral semi-árido brasileiro devido aos mesmos motivos.

O efeito das alterações nos estuários sobre os manguezais brasileiros é bastante antigo. Data da época das populações indígenas através da exploração dos recursos pesqueiros como atestam os sambaquis encontrados em várias regiões do país. Durante o período colonial, além de fonte de alimento os mangues foram utilizados na produção de lenha e para extração de tanino. A extração de madeira de manguezal era tão intensa que o Rei Dom José teve que proibir por decreto em 1760 o seu corte para lenha, reservando seu uso somente para a produção de tanino extraído de suas cascas e utilizado na curtição de couro (Cunha, 2004).

Até as primeiras décadas do século XX, os manguezais eram explorados de maneira pouco intensa pela pesca, construção de viveiros para aquicultura extensiva, extração para construções caiçaras e marambais e construção civil. Nesse período, extensas áreas de manguezais no Nordeste começaram a ser substituídas por salinas. A partir da década de 50 este ecossistema começou a ser submetido à intensa pressão ambiental oriunda da expansão imobiliária e industrial. Grandes superfícies foram degradadas para facilitar a construção de polígonos minero-metalúrgicos e industriais, como o caso de São Luís (MA), Belém (PA), Aracajú (SE) e Suape (PE). A partir da década de 70 a queda do preço do sal fez com que as áreas com menores produções fossem abandonadas, e com o passar dos anos alcançou a maior

parte dos empreendimentos existentes no nordeste, particularmente nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Atualmente, esta atividade está concentrada no Estado do Rio Grande do Norte, mais precisamente nos estuários dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu. Ainda nesta década, as áreas abandonadas e que já estavam preparadas foram prioritariamente ocupadas pela atividade da carcinicultura, que se iniciou no Rio Grande do Norte durante o governo de Cortez Pereira. Outros estados como Pernambuco, Ceará, Paraíba e Bahia implantaram viveiros para cultivos de camarões marinhos, predominantemente da espécie exótica *Litopenaeus vannamei*, no mesmo período. O censo realizado pela Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC) em 2004, para a carcinicultura brasileira, mostra que na atualidade existem 16.598 hectares (165,98 km<sup>2</sup>) de áreas cultivadas no país, sendo cerca de 75% localizadas em 5 estados da região Nordeste: 6.281 ha (no Rio Grande do Norte); 3.804 ha (no Ceará); 1.108 ha (no Pernambuco); 751 ha (no Piauí); e 630 ha (na Paraíba).

#### 4.8 Legislação protetiva

O manguezal, ecossistema bem representado ao longo do litoral brasileiro, é considerado, no Brasil, como de preservação permanente, incluído em diversos dispositivos constitucionais (Constituição Federal e Constituições Estaduais) e infraconstitucionais (leis, decretos, resoluções, convenções). A observação desses instrumentos legais impõe uma série de ordenações do uso e/ou de ações em áreas de manguezal.

**Constituição Federal brasileira, art.225, § 4º**, considera a Zona Costeira como "patrimônio nacional", devendo ser utilizada observando a preservação do meio ambiente;

**A Lei 7661, de 16 de maio de 1988, Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)**, definiu em seu **art.2º, parágrafo único**, a Zona Costeira como "o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, que serão definidas pelo Plano" e, em seu art.3º,I, dá prioridade a conservação e proteção, em caso de zoneamento, entre outros, aos manguezais, prevendo, inclusive, sanções como interdição, embargos e demolição (arts.6º), além das penalidades do **art.14 da Lei 6.938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente)**.

**A Resolução nº 01 de 21.11.90 da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e pelo CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente** aprovou a Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro que define a Zona Costeira como "a área de abrangência dos efeitos naturais resultantes das interações terra-mar-ar, leva em conta a paisagem físico-ambiental, em função dos acidentes topográficos situados ao longo do litoral, como ilhas,

estuários e baías, comporta em sua integridade os processos e interações características das unidades ecossistêmicas litorâneas e inclui as atividades socioeconômicas que aí se estabelecem.

A **Lei de Parcelamento do Solo (Lei 6766/79)**, não permite o parcelamento do solo em áreas de preservação ecológica, entre outras (**art. 3º, parágrafo único, V**), incluindo nestas os manguezais.

A **Lei 4.771 de 15.09.65 (Código Florestal)**, **art.2º**, considera também floresta de preservação permanente, as que servem de estabilizadoras de mangues.

A **Lei 6938 de 31 de agosto de 1981 (Política Nacional do Meio Ambiente)** tem a finalidade de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental para propiciar a vida, assegurando assim o desenvolvimento socioeconômico (**art.2**), com o atendimento dos seguintes princípios, entre outros: planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais (**inc. III**); proteção dos ecossistemas, com preservação de áreas representativas (**IV**); controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras (**V**); recuperação de áreas degradadas (**VIII**); e proteção de áreas ameaçadas de degradação.

Nesta lei, estão importantes conceitos como, por exemplo, recursos ambientais que são: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora (**art.3, V**). Instituiu, ainda, em seu art.14 as sanções administrativas de multa, perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais, perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito e suspensão de atividade; prevê, ainda, em seu art.15, alterado pela **Lei 7.804 de 18.07.89**, pena de reclusão e multa ao poluidor que expuser a perigo a incolumidade humana, animal ou vegetal, ou venha a agravar esta situação.

A **Lei 7.347/85 (da Ação Civil Pública)** permite ao Ministério Público, à União, aos Estados, aos Municípios, Autarquias, empresas públicas, fundações, sociedades de economia mista e associações civis com mais de um ano ajuizar ação civil pública de responsabilidade por danos ao meio ambiente, conforme seu **art.5º**, impondo: condenação em dinheiro ou cumprimento de obrigação de fazer ou não fazer (**art.3º**); multa e pena de prisão-reclusão aos agressores (**art.10º**).

A ação popular constitucional tem o fim de anular ato lesivo ao patrimônio público (**art.5º, LXXIII, Constituição Federal**).

Mandado de segurança coletivo às entidades associativas, aos partidos políticos e aos sindicatos para defender interesses transindividuais (**art.5º, LXX da CF**) e; mandado de injunção em faltando norma regulamentadora a agasalhar um direito reconhecido (**art.5º, LXXI, C.F**), todas elas podendo ser aplicadas em havendo potencial dano aos manguezais.

**Lei 9.605/98 (dos Crimes Ambientais)****Proteção legal nas constituições dos estados brasileiros**

- **Bahia, art.215, I**, inclui os manguezais nas áreas de preservação permanente;
- **Ceará, art.267, V**, proíbe a indústria, comércio, hospitais e residências de despejarem nos mangues resíduos químicos e orgânicos não tratados;
- **Maranhão, art.241, IV, "a"**, inclui os manguezais nas áreas de preservação permanente;
- **Paraíba, 227, IX**, determina a designação dos mangues como áreas de preservação permanente;
- **Piauí, art.237, § 7º, I**, também inclui os manguezais nas áreas de preservação permanente;
- **Rio de Janeiro, art.265, I**, também considera os manguezais de preservação permanente.
- **São Paulo, art.196**, considera o Complexo Estuário Lagunar entre Iguape e Cananéia como espaços territoriais especialmente protegidos, podendo ser utilizado apenas com autorização, mas sempre observando a preservação do meio ambiente, bem como em seu art.197, I considera expressamente os manguezais áreas de proteção permanente.

No restante dos estados marítimos, os manguezais existentes em suas áreas estão de certa forma protegidos, porque, em suas constituições, há dispositivos legais que protegem regiões que tem flora e fauna rica ou de importância, estando por conseguinte incluídos aí os mangues, de forma que os manguezais brasileiros estão bem definidos e incluídos na Zona Costeira do Brasil, e conseqüentemente protegidos por lei, quer expressamente ou indiretamente.

Estas são em suma as sanções administrativas e a legislação principal penal existente que podem ser aplicadas em caso de degradação dos manguezais, observando que, em caso da autoridade competente retardar ou deixar de praticar indevidamente ato de ofício ou praticá-lo contra disposição expressa de lei, para satisfazer o interesse pessoal, estará praticando crime de prevaricação, nos termos do art.319 do Código Penal.

Lembramos ainda que o art.225, caput, de nossa Carta Magna garante a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo.

Assim, pelo fato de estarem dentro das Zonas Costeiras, somado as suas características especiais em termos biológicos, o ecossistema manguezal está protegido legalmente contra a

degradação, observando que em muitos Estados marítimos brasileiros, incluindo nestes o de São Paulo, é expressamente considerado área de proteção permanente em suas Constituições; mas, apesar de toda essa legislação, os manguezais vêm sofrendo grande pressão com seu aterramento para a expansão urbana, o que será catastrófico em não se observando as diretrizes legais.

#### 4.9 Manguezais e a indústria do petróleo

O manguezal é classificado como um dos ecossistemas costeiros mais sensíveis e vulneráveis a vazamento de óleo. Entretanto, quando ocorrido em zonas de transição ambiental, como regiões de mangue ou zonas costeiras, os efeitos tendem a ser mais danosos, devido ao fato dessas regiões serem muito sensíveis a tais impactos e servirem como local de reprodução para várias espécies.

Com o crescimento das indústrias petroquímicas, que constituem uma importante fonte de risco a poluição para estas regiões (Fotos 4.20 e 4.21), este ecossistema é constantemente atingido por derrames de petróleo, como resultado de acidentes na sua exploração e transporte, ficando flora e fauna prejudicadas pelo poluente, devido principalmente à facilidade de sua acumulação no sedimento.

Diversas técnicas são utilizadas para remediação de áreas contaminadas, como por exemplo, a confecção de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo (Figura 4.4). Porém nem sempre estas são eficientes ou bem aplicadas, podendo até agravar o impacto, devido à falta de conhecimento do ambiente, do tipo de derrame de óleo, levando em consideração aos diferentes tipos de comportamento que o óleo pode assumir.



**Foto 4.20:** Campo de produção de petróleo e gás natural Serra, em contato direto com o manguezal. Foto: PETROBRAS (2006).



**Foto 4.21:** Plataforma de extração de petróleo e gás natural em contato direto com ambientes associados ao manguezal. Foto: PETROBRAS (2006).

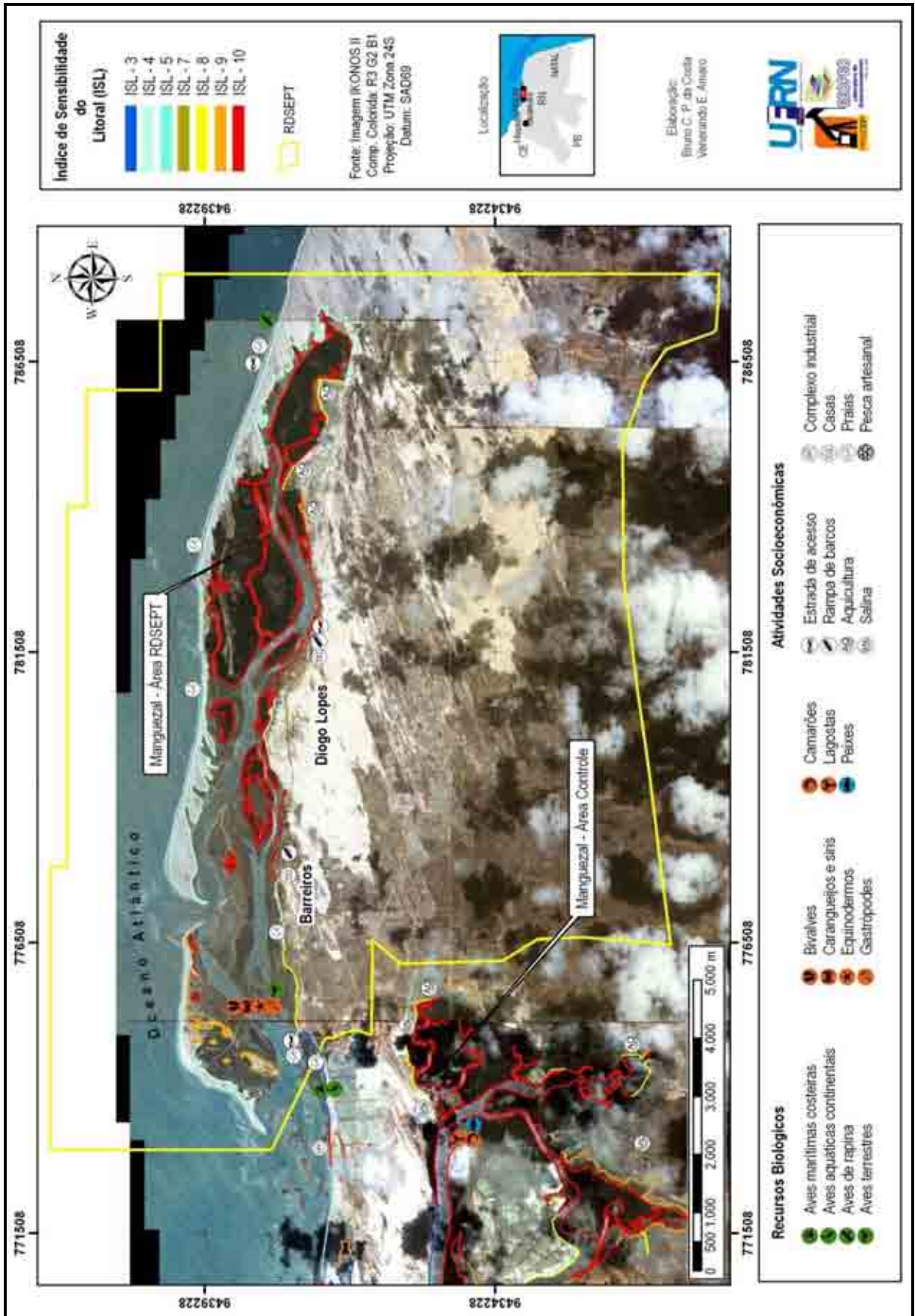


Figura 4.4: Mapa operacional de sensibilidade ambiental a derrames de óleo. Fonte: Adaptado de Souto (2004).

Por outro lado, produzir, assegurando a preservação ambiental e o desenvolvimento social é também um compromisso da PETROBRAS. Em mais de 30 anos de produção no Rio Grande do Norte, a Petrobras tem investido em projetos de responsabilidade social e ambiental, sendo parceiras das comunidades, promovendo o desenvolvimento, autonomia e sustentabilidade das populações beneficiadas. São projetos voltados para a valorização da cultura, geração de emprego e renda, educação de jovens e adultos e preservação ambiental, realizados do litoral ao sertão potiguar. Dentre esses, destacamos o Encontro Ecológico realizado anualmente na RDSEPT. A PETROBRAS participa ativamente dessa iniciativa desde a primeira edição do evento, no ano de 2001, mantendo o seu compromisso de alinhar crescimento econômico com proteção aos ecossistemas da região.

Há três anos a PETROBRAS realiza anualmente a seleção pública para projetos na área ambiental, através do Programa PETROBRAS AMBIENTAL, que no ano de 2008 destinou cerca de R\$ 500 milhões para iniciativas que contribuem para a conservação e preservação dos recursos ambientais.

A PETROBRAS, também apóia iniciativas capazes de reduzir os riscos de destruição de espécies e habitats aquáticos ameaçados; melhorar a qualidade dos corpos hídricos e contribuir para a fixação de carbono e emissões evitadas de gases causadores do efeito estufa. A Companhia está alinhada a sétima meta dos Objetivos do Milênio: garantir a sustentabilidade ambiental.

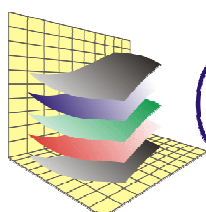


---

# CAPÍTULO V

*Aplicações das Imagens Orbitais no Monitoramento Ambiental do Manguezal da RDSEPT*

---



**GEOPRO** Laboratório de Geoprocessamento

## 5.1 Interpretação das imagens orbitais

Os produtos finais do processamento digital das imagens foram interpretados proporcionando a discriminação de diversas unidades geoambientais, destacando principalmente as feições caracterizadas como manguezais, por se tratar do principal alvo deste trabalho. Para isso foi utilizada uma cena 215/64 do LANDSAT 5-TM de 10/setembro/2009, que depois de cortada nos limites da área de estudo gerou uma sub-cena com limites 9.442.109N / 789.964,5E e 9.430.136N / 768.355E. Tais limites foram adotados para todas as imagens utilizadas neste trabalho e depois georreferenciadas.

Na (figura 5.1) (indicativo [A]) tem-se a subcena em composição colorida R (5) G (4) B (2) na qual pode-se separar a vegetação de mangue, em verde escuro, da vegetação de caatinga como também a vegetação fixadora de dunas, ambas em verde claro. A água aparece em azul escuro/preto, tanto para o oceano, canais e lagoas, e a linha de costa e dunas em branco. Na imagem, os tons de verde mais escuro nas áreas de manguezal na imagem devem-se principalmente à presença de água neste ambiente. A justificativa para este fato reside no fato de as bandas 4 e 5 apresentarem sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo também para observar o grau de estresse na vegetação caso isso esteja ocorrendo, causado em grande parte por desequilíbrio (estresse hídrico). Caso este não tenha ocorrido devido ao alto índice de pluviosidade no local durante o imageamento do satélite, revelando também as vegetações de caatinga e fixadora de dunas porque se tornaram bastante evidentes devido ao inverno atípico ocorrido em tal ano. A banda 4 no canal do verde revelou a vegetação nesta própria cor e os corpos de água que absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento dos corpos de água local revelando assim os contatos entre os canais e a vegetação de mangue. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo de forma destacada nesta imagem, apresentando, também, sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal) neste caso a floresta de mangue. A banda 2 no canal do azul apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade e boa penetração em corpos de água. Justifica-se a utilização desta banda, pois, trata-se de um ambiente muito úmido. A composição utilizada melhorou a caracterização e diferenciação da vegetação local.

Na (figura 5.1) (indicativos [B] e [C]) são subcenas onde a imagem B é R (PC1) G (PC3) B (PC2) e a imagem C é R (PC3) G (PC4) B (PC5). Nelas, foi utilizada a Análise por Componentes Principais (ACP ou simplesmente, doravante, PC), visando transformar os

conjuntos de variáveis em conjuntos de menores combinações lineares que representam a variância do conjunto total. Esta análise permitiu reduzir os dados e facilitar a interpretação dos mesmos. Esta técnica foi utilizada também para revelar quais as regiões que tiveram ganho ou perda de vegetação.

A correlação entre as bandas está relacionada com os valores de cada banda. Analisando a matriz de correlação desta sub-cena através da análise de sua respectiva estatística para as imagens, (Figura 5.1) (indicativo [B]) e (Figura 5.1) (indicativo [C]), ver em anexos (Anexo 2) observa-se que existe uma grande correlação entre as mesmas, como por exemplo a correlação entre as bandas 1 e 2 para com o valor de 0,986 valor este também apresentado na banda 2 coincidentemente. Verificou-se isso para a (figura 5.1)(indicativo [B]), enquanto que para a (figura 5.1) (indicativo [C]), a utilização destas PC está justificada pelo fato de que, na PC4, a banda 2 apresenta uma baixa participação na formação desta PC. Isto se justifica devido à baixa correlação entre essas bandas na matriz de correlação. A PC5 apresenta uma baixa participação da banda 1, a qual, por sua vez, apresenta pouca correlação com a banda 4 revelando ainda mais a vegetação. A PC3, no canal do vermelho, apresenta o maior peso na banda 4 que por sua vez é a que melhor revela a vegetação saudável, o que possibilitou a identificação, também, da degradação de algumas partes do manguezal.

A participação das bandas na formação das principais componentes torna-se uma ótima ferramenta do PDI para analisar a unidade geoambiental conhecida como manguezal, onde a banda que apresenta o maior valor é a que mais vai contribuir na formação da PC. Fazendo o correto uso desta ferramenta, tornou-se possível selecionar o que de fato é mais importante na análise de determinadas feições e destacá-las na imagem.

A utilização destas PC justifica-se pelo fato de que estas representam mais de 90% das informações contidas na imagem e destacou bem o manguezal em tons de verde para a (figura 5.1) (indicativo [B]) e tons de rosa para a (figura 5.1) (indicativo [C]), sendo esta unidade geoambiental o principal alvo de estudo neste trabalho.

Na (figura 5.1) (indicativo [D]), como a banda 4 é a que mais revela a vegetação, esta foi utilizada no canal do vermelho. No canal do azul, foi utilizada outra ferramenta do PDI conhecida como Razão de Bandas, utilizada para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos como as florestas de mangues, dunas móveis e lagoas. A utilização da operação de razão de bandas teve o objetivo de:

- Remover efeitos de ganho provenientes de variações espaciais ou temporais, quando ocorrem em bandas de uma mesma imagem;

- Diminuir variações de radiância da imagem, provenientes de efeito de topografia, declividade e aspecto;
- Aumentar diferenças de radiância entre solo e vegetação;
- Aumentar o contraste entre solo e vegetação.

Por se tratar de um sensor ótico multiespectral, diferentes bandas da mesma imagem podem ser combinadas para acentuar áreas com vegetação. Utilizou-se a razão entre bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, constituindo assim, os chamados índices de vegetação normalizada (NDVI, *Normalised Difference Vegetation Index*) dado por:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (\text{NIR} + \text{Vermelho})$$

Esta outra ferramenta do PDI foi aplicada no canal do verde, visando realçar a vegetação em cores próximas do natural. Na imagem, as áreas que se apresentaram em tons de verde são as áreas com vegetação, enquanto as áreas sem vegetação, como o oceano, em tons escuros e o sedimento quartzoso livre em tons amarelo-alaranjados.

Quando tratamos de avaliação ambiental, se faz necessária a obtenção de uma grande quantidade de informações e detalhes sobre o local estudado, porém tal quantidade de detalhe e informações às vezes não é possível de serem adquiridas através do uso de sensores remotos, com resolução espacial de 30m, principalmente quando se trabalha em escala de 1:50.000. Como outros produtos com menores resoluções espaciais possuem custos bastantes elevados, muitas vezes os mesmos não são financiados por instituições de ensino. Para detalhar mais a avaliação ambiental da área de estudo foi lançado mão de outra ferramenta de PDI, conhecida como fusão de dados, onde um diferente conjunto de imagens mesmo que de sensores diferentes, é utilizado para gerar uma imagem híbrida de uma mesma área, combinando características de ambos os sensores e imagens. As imagens individuais devem estar georreferenciadas para um sistema de coordenadas compatível. Uma das principais vantagens da fusão de dados é que, quando se combinam imagens ou bandas de diferentes resoluções espaciais, aquela de maior resolução passa automaticamente também a possuir a resolução da outra. Esta imagem híbrida gerada passa a possuir características incomuns.

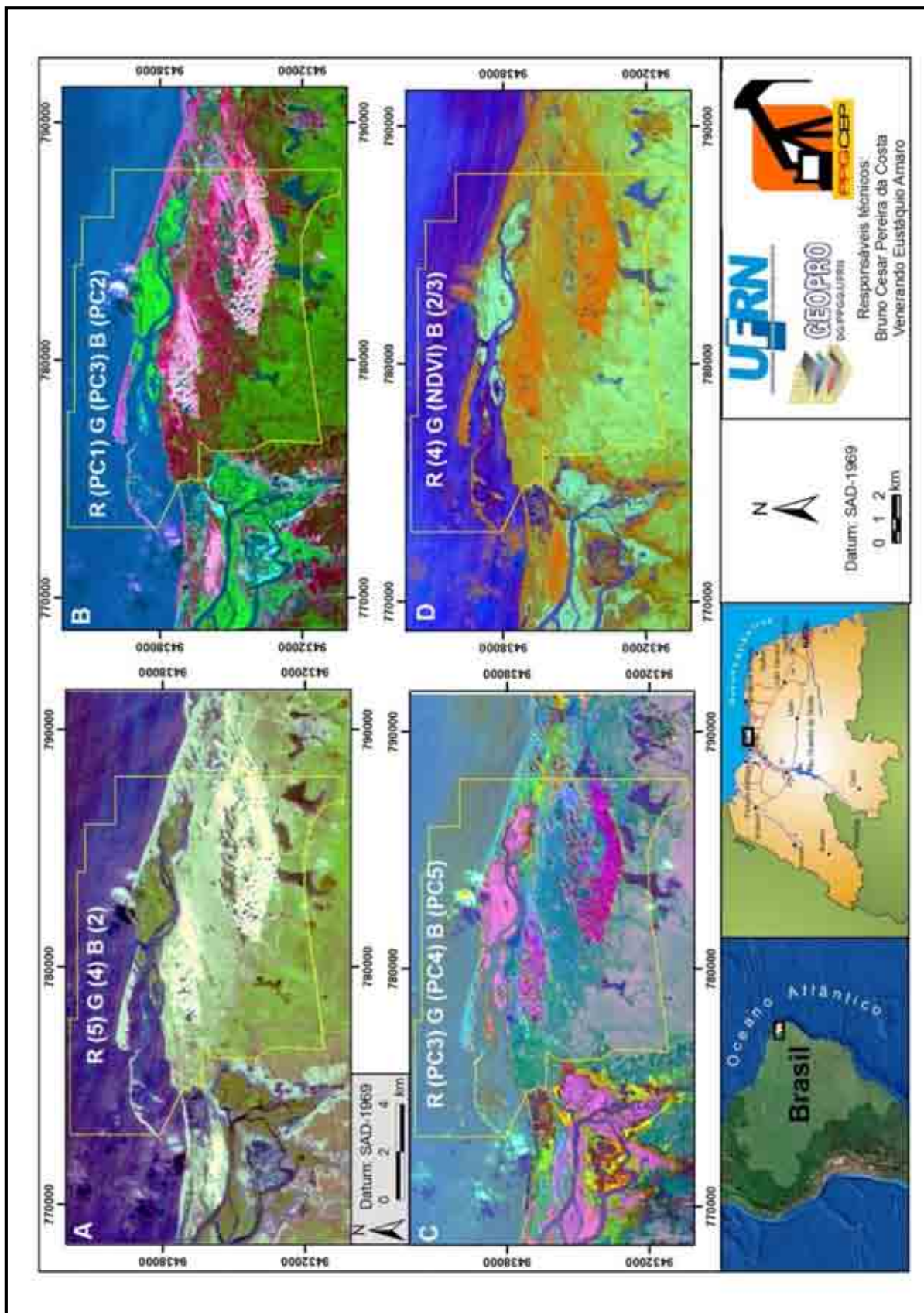
Como o foco principal deste trabalho é a avaliação do manguezal esta, através das imagens da (figura 5.1) (indicativos [A] [B] [C] e [D]) apresentou-se bem satisfatória. Entretanto para melhorá-las e aumentar sua resolução espacial para 15 m, utilizou-se uma imagem de sistema ativo SAR (*Sinthetic Aperture Radar*) RADARSAT-1, a qual, como já mencionado no capítulo anterior possui inúmeras vantagens quando se trata de avaliação de vegetação, pois os sistemas óticos de satélite LANDSAT 5-TM e LANDSAT 7-ETM

possuem uma resolução espacial de 30 x 30 m sendo este o tamanho de cada pixel da imagem, a qual define a menor separação angular ou linear entre dois objetos na mesma. Por exemplo, em uma resolução espacial de 30 m implica que, objetos distanciados entre si a menos de 30m não serão discriminados pelo sistema.

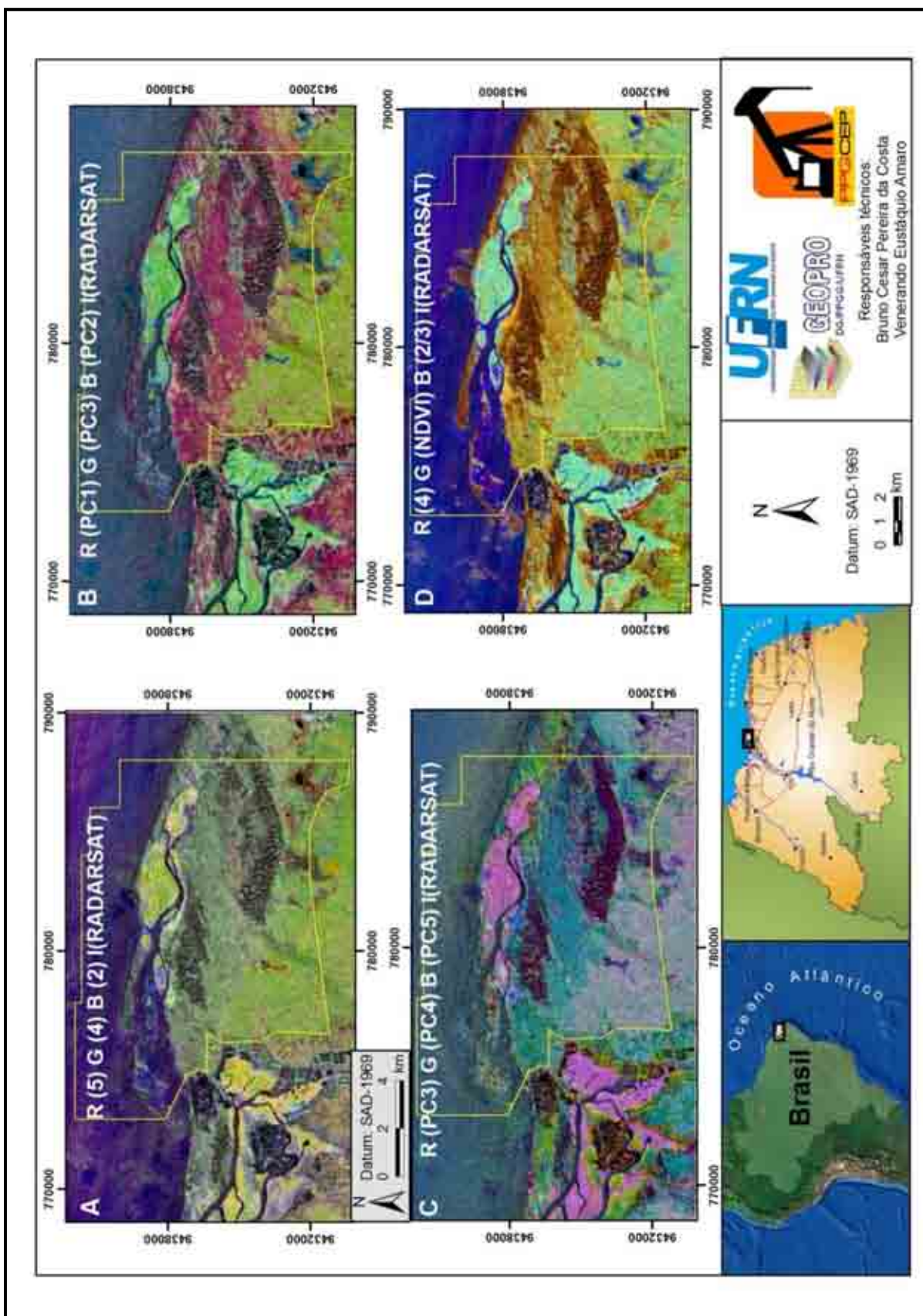
A figura 5.2 (indicativos [A] [B] [C] e [D]) possui as mesmas composições encontradas na figura 5.1 (indicativos [A] [B] [C] e [D]), apresentando uma outra aparência, pois trata-se de imagens híbridas entre LANDSAT 5-TM e RADARSAT-1, com resolução espacial de 15 m e um aspecto mais rugoso, características essas da imagem RADARSAT-1. Esta rugosidade, anteriormente, apresentava-se bem mais intensa, causando um certo desconforto. Este, por sua vez, foi suavizado com a aplicação do filtro Lee. Utilizou-se, também, o filtro sigma\_u com o propósito de realçar contatos entre as feições. Tais filtros são próprios para imagens tipo SAR do *software Er Mapper v 7.1*.

Depois de realizado todo o PDI acima citado, ainda foi feito, também, algumas modificações no histograma de todas as imagens, nas quais foram feitas a manipulação do realce do contraste para cada imagem, isto é, a transferência radiométrica em cada pixel da imagem, visando a melhoria da qualidade do aspecto visual da mesma e de suas respectivas feições, destinando-as à uma melhor identificação, discriminação, interpretação e aplicação aos interesses desta pesquisa, sob os critérios subjetivos do olho humano.

Depois de processadas no *software Er Mapper v 7.1*, as imagens orbitais foram remanejadas para o *software ArcGIS v 9.3*, sendo posteriormente realizada a vetorização das principais unidades geomorfológicas, em especial das florestas de mangue. Os mapas das diversas unidades, após confirmação com dados de campo, foram integrados em ambiente SIG na escala 1:50.000.

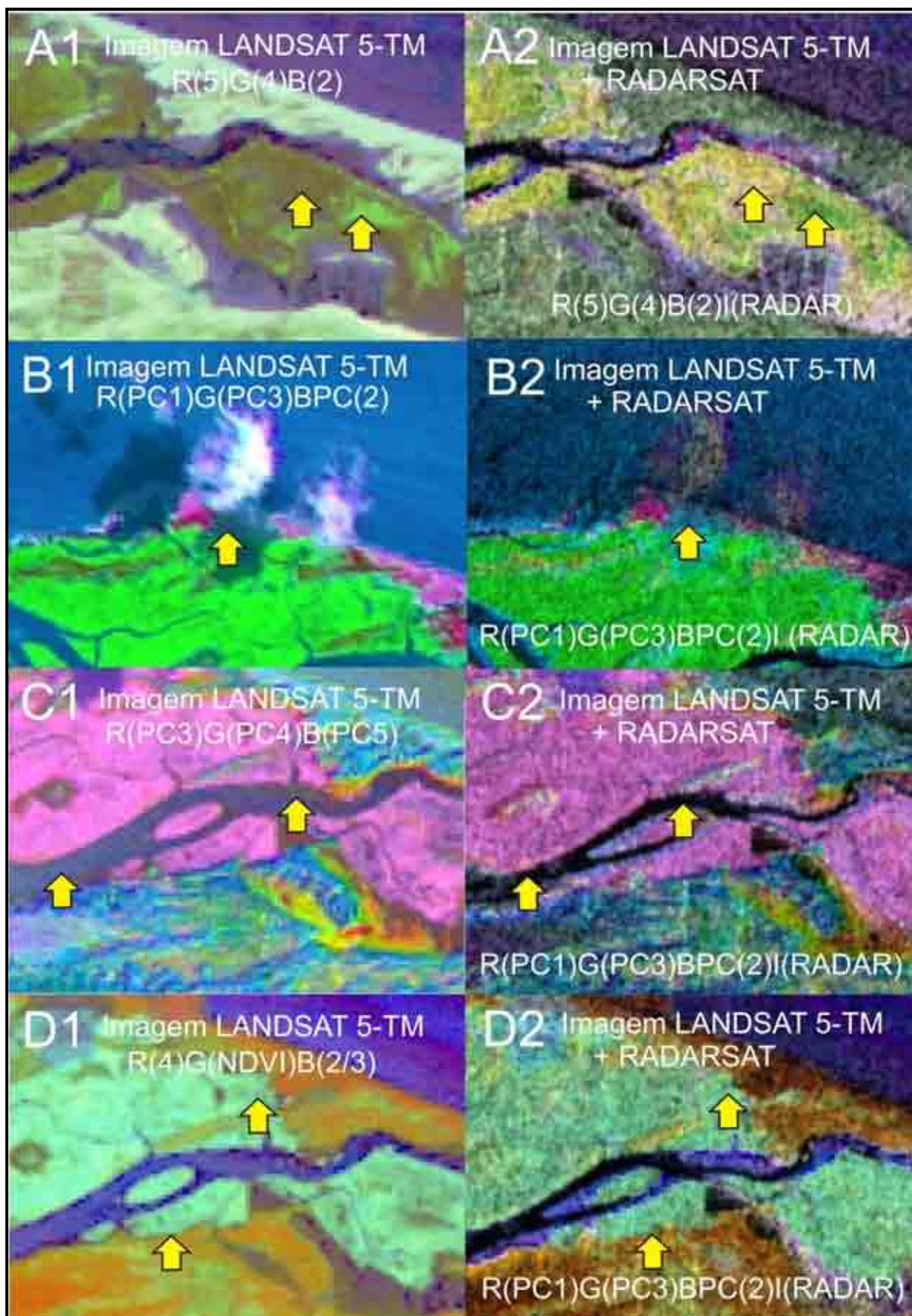


**Figura 5.1:** Imagem [A] LANDSAT 5-TM 2009 R (5) G (4) B (2), imagem [B] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC1) G (PC3) B (PC2), imagem [C] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC3) G (PC4) B (PC5), imagem [D] LANDSAT 5-TM 2009 R (4) G (NDVI) B (2/3).



**Figura 5.2:** Imagem [A] LANDSAT 5-TM 2009 R (5) G (4) B (2) I (RADARSAT-1), imagem [B] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC1) G (PC3) B (PC2) I (RADARSAT-1), imagem [C] LANDSAT 5-TM 2009 R (PC3) G (PC4) B (PC5) I (RADARSAT-1), imagem [D] LANDSAT 5-TM 2009 R (4) G (NDVI) B (2/3) I (RADARSAT-1).

A (figura 5.3) revela claramente o ganho de qualidade por parte das imagens híbridas, por exemplo, as setas na (figura 5.3) (indicativo [A2]) indicam grupos vegetacionais diferentes bem evidenciados em relação a (figura 5.3) (indicativo [A1]) devido ao poder de penetração das ondas do sistema ativo no topo do dossel até o solo. A revelação da diferença entre as espécies nesta imagem deve-se, a altura das árvores e/ou a densidade das folhas/copa para cada espécie. Na (figura 5.3) (indicativo [B1]) a seta mostra a sombra das nuvens sobre a vegetação de interesse, a qual, por sua vez, dificultam a interpretação das unidades encobertas pelas mesmas enquanto que na (figura 5.3) (indicativo [B2]) estas nuvens já se apresentam bem suavizadas, pois as ondas do sistema ativo também penetram nas nuvens. A (figura 5.3), (indicativo [C2]) mostra os contatos entre a vegetação e a água bem mais nítidos em relação à (figura 5.3) (indicativo [C1]), enquanto que as setas da (Figura 5.3) (indicativo [D2]) revelam melhor os contatos entre vegetação e o sedimento dunar em relação à (figura 5.3) (indicativo [D1]). Além da fusão, foram aplicados filtros que também agregaram qualidade à imagem. Como por exemplo, na (figura 5.3) (indicativo [C2]) e na (figura 5.3) (indicativo [D2]) aplicou-se o filtro  $\sigma_u$  para realçar os contatos entre as unidades de interesse e o filtro Lee para suavizar o ruído característico do sistema ativo RADARSAT-1.



**Figura 5.3:** Imagem mostrando as vantagens da fusão de imagens, onde imagens da esquerda foram produzidas apenas a partir imagem LANDSAT 5-TM enquanto imagens da direita são o resultado da fusão entre LANDSAT 5-TM e RADARSAT-1.

## 5.2 Análise multitemporal da evolução da linha de costa de 1989 a 2009

Com a utilização de imagens orbitais do LANDSAT com resolução 30 m dos anos de 1989 a 2009, foi possível realizar a análise multitemporal da evolução da linha de costa como também a constatação de que a área é detentora de uma intensa dinâmica costeira. Com isso, foi possível analisar mudanças ocorridas ao longo de 20 anos para a área em estudo. A combinação utilizadas foram a R (4) G (NDVI) B (2/3) para as imagens LANDSAT 5-TM 02/08/1989, 28/09/1998 e 10/09/2009 e imagem LANDSAT 7 ETM+ DE 11/06/2009 onde se apresentou bem destacado o sedimento quartzoso livre que forma esta área (Figura 5.4) O *software* ER-Mapper v 7.1 foi utilizado para o PDI das imagens e em seguida no *software* ArcGIS v 9.3, foram realizadas a vetorização e quantificação das feições em estudo e análise espacial, revelando as mudanças ocorridas para cada intervalo de tempo, como a caracterização das áreas de erosão, de acreção e aquelas que se mantiveram estáveis. Usou-se também o *Microsoft Office Excel 2007* para o cruzamento de informações e confecção de gráficos.

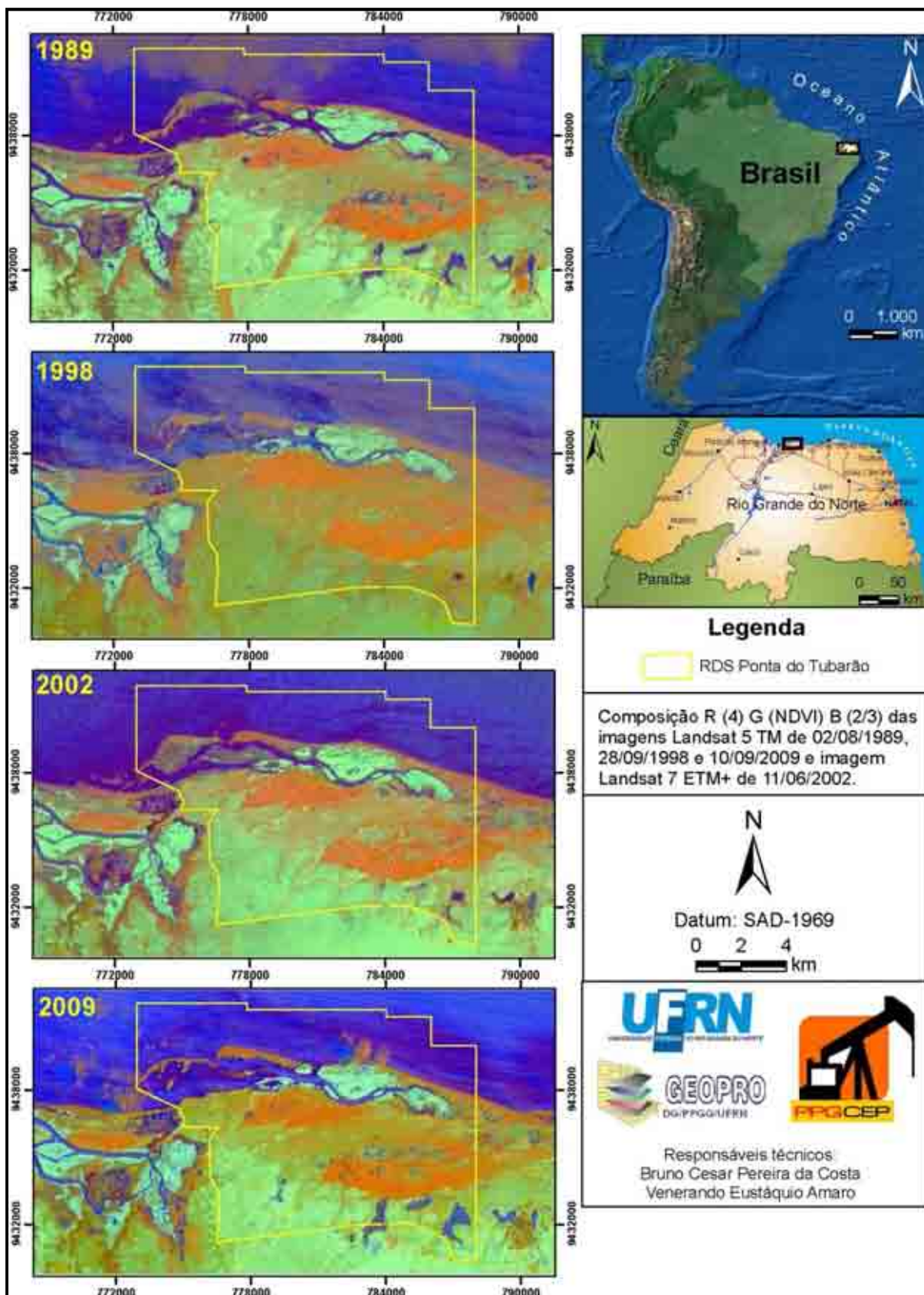


Figura 5.4: Mapa de análise multitemporal da linha de costa, dunas móveis e do manguezal de 1989 a 2009.

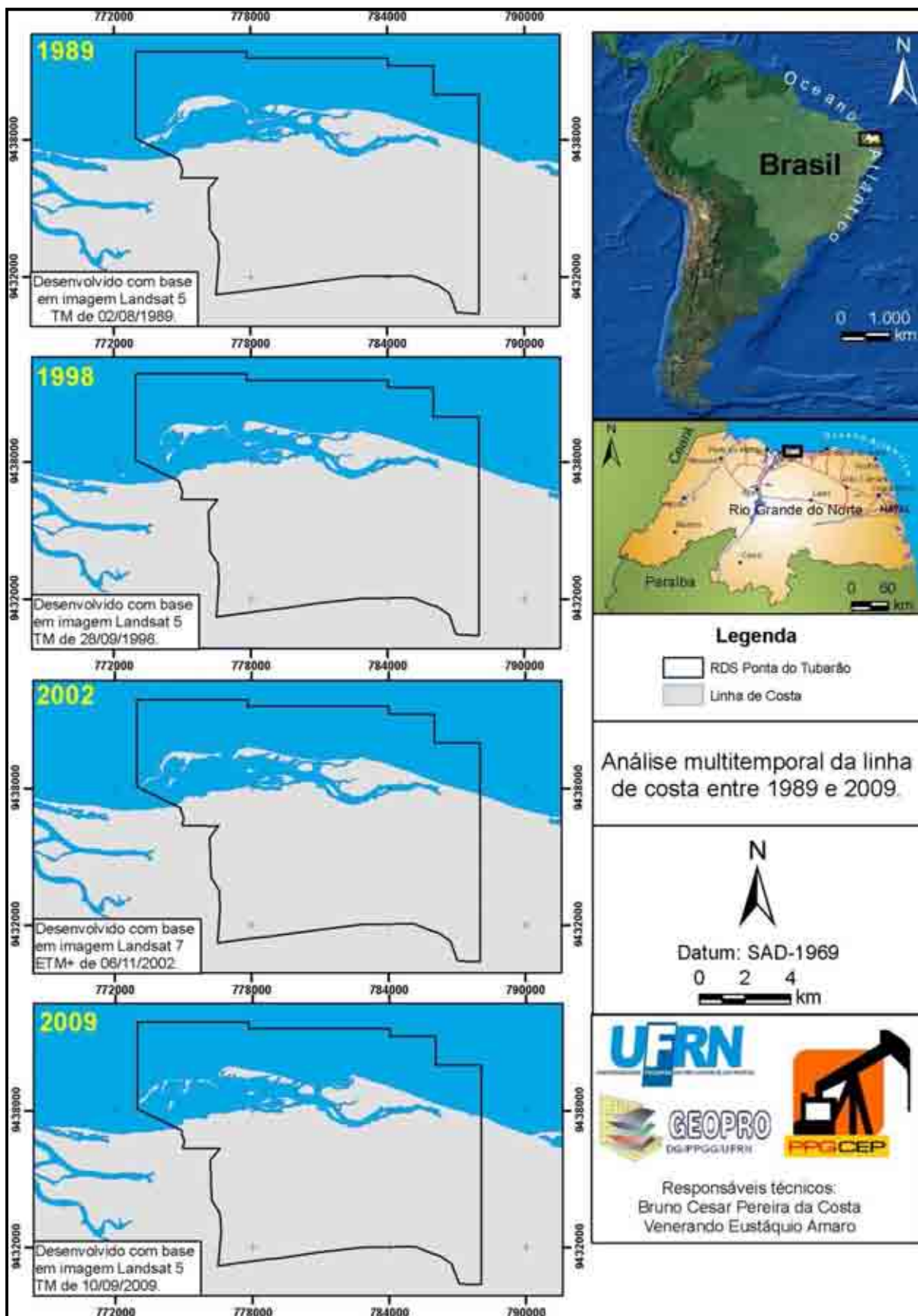
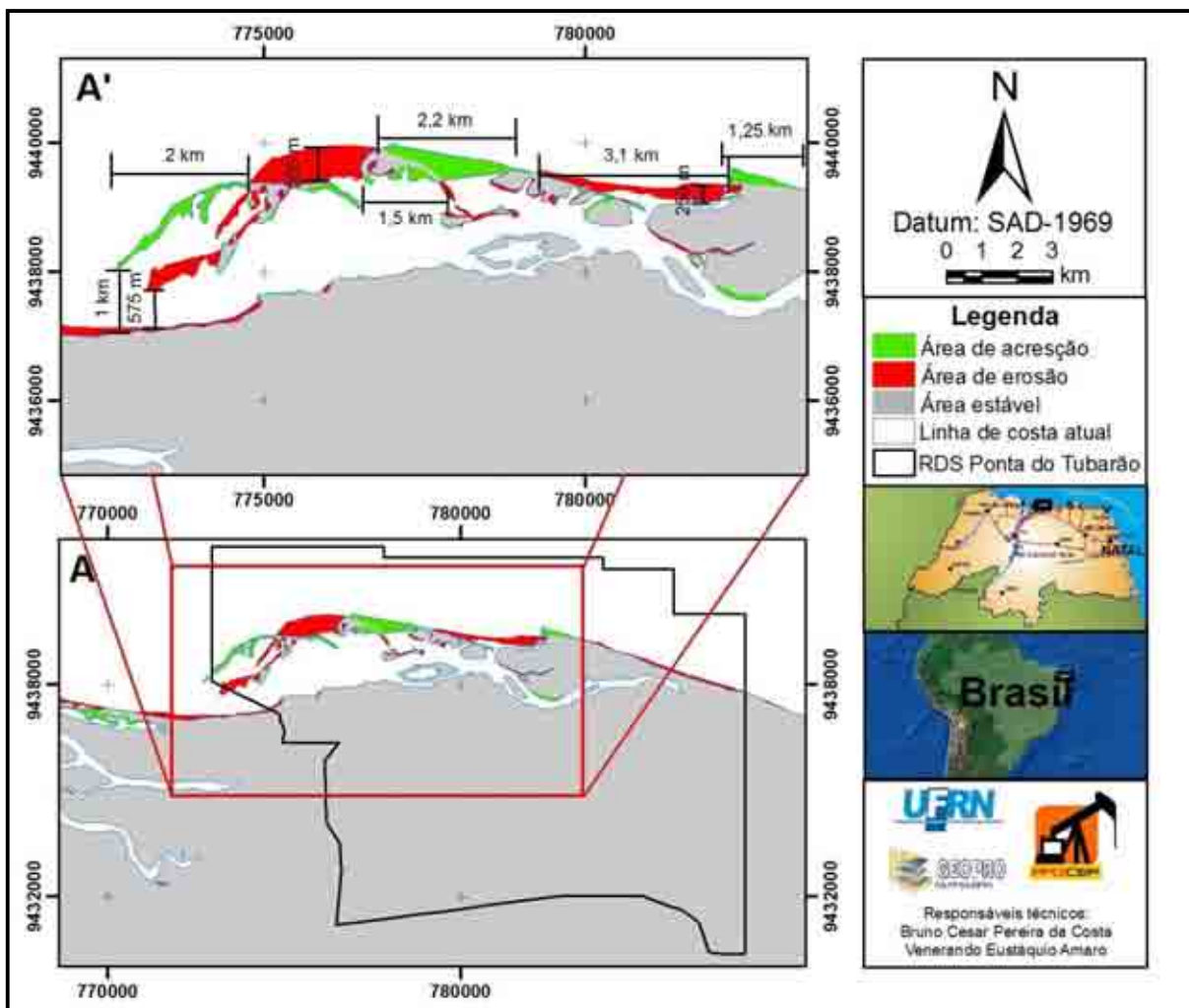


Figura 5.5: Mapa de análise multitemporal da evolução da linha de costa de 1989 a 2009.

A (figura 5.6) apresenta o monitoramento no período de 20 anos (1989 a 2009), quando ocorreu uma acreção de  $1,9 \text{ km}^2$  e erosão de  $3,3 \text{ km}^2$  aproximadamente. Neste período, ocorreu um decréscimo sedimentar quartzoso ao longo de toda a barra arenosa, havendo uma significativa erosão na linha de costa, sendo remobilizado sedimento ao longo de grande parte da linha de costa possivelmente durante a maré de enchente. Percebe-se, neste espaço de tempo, um grande processo erosivo e deposição migratória do sedimento tanto na Barra do Fernandez, a qual apresentou deslocamento de 1,25 km, no sentido leste-oeste, quanto na Ilha da Ponta do Tubarão, a qual apresentou um deslocamento de 1 km no sentido S-N. Com a evolução erosiva, é notório um significativo estreitamento da linha de costa ao longo de toda a área pesquisada. Observa-se também que as faixas que apresentaram uma menor redução de sedimentação e avanço do mar deram-se devido à presença do manguezal. Este vem cumprindo mais uma das suas funções que é servir de barreira natural entre o ambiente marinho e o continental.



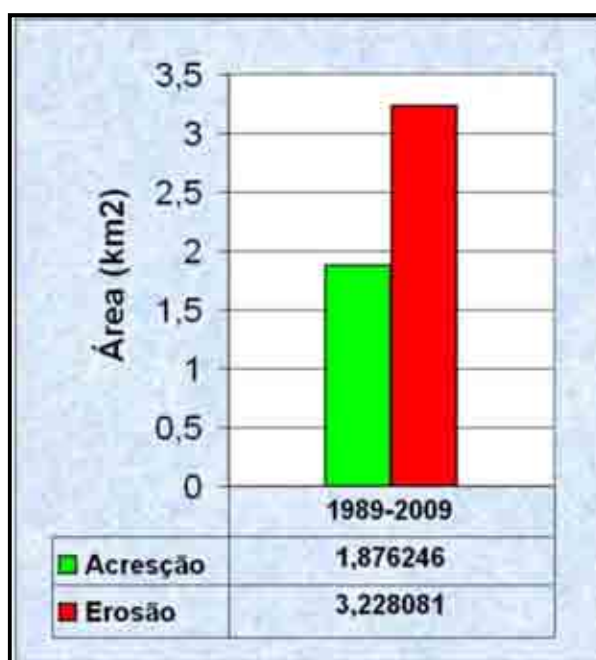
**Figura 5.6:** Mapa de quantificação multitemporal do balanço sedimentar da linha de costa de 1989 a 2009.

Para Nascimento (2009), a costa setentrional do Estado do Rio Grande do Norte possui uma geomorfologia costeira complexa, com intensa dinâmica costeira e formação de cordões arenosos e ilhas barreiras, que criam zonas de sombra, não permitindo a chegada de sedimentos na praia, abertura natural de canais paralelos à linha de costa, aumentando assim a erosão e, dificultando também, a estabilidade do litoral.

Apontam Alves *et al.*, (2003), Lima *et al.*, (2002), Souto (2002 e 2004), Tabosa *et al.*, (2002) e Grigio (2003) que, de acordo com as análises realizadas na área do estudo, percebe-se que a linha de costa ao longo de sua história geológica apresenta uma sequência de progradação, porém no contexto atual, devido à influência dos agentes hidrodinâmicos como as ondas, marés, ventos em consonância com as feições e estruturas geológicas atuantes na região, juntamente com intervenções antrópicas como barramentos, atividade salineira, carcinicultura e exploração de petróleo, possivelmente contribuem pra acelerar o processo erosivo.

Souto (2002) aponta que a dinâmica nas correntes marinhas *rip curl* que determina a modelagem da linha de costa, onde a forte influência das marés forma feições de pequenos deltas de maré de vazante e formação de *spits* perpendicular à costa, que são retrabalhados pela corrente de deriva litorânea e se desenvolve de Leste para Oeste na área (Figura 5.6).

A (figura 5.7) revela a real situação sedimentar na linha de costa da área em estudo, onde ao longo de avaliação de vinte anos mostra uma acreção sedimentar de apenas 1,9 km<sup>2</sup>. Em contrapartida houve uma erosão de 3,2 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Com isso, percebe-se uma grande diferença entre a taxa de acreção sedimentar e a taxa de erosão, que mostra uma situação bastante preocupante, pois, esta erosão causa grandes conseqüências ao manguezal como visto nas (fotos 5.1, 5.2 e 5.3), necessitando assim de intervenções antrópicas no intuito de minimizar tal situação.



**Figura 5.7:** Gráfico de quantificação do balanço sedimentar multitemporal da linha de costa de 1989 a 2009.



**Foto 5.1:** Árvores de mangue aparentemente ainda sem sofrer os efeitos do avanço da linha de costa antes da abertura da barra. Foto: Arquivo GEOPRO. (2007).



**Foto 5.2:** Árvores de mangue já sofrendo os efeitos do avanço da linha de costa e abertura da barra. Foto: Bruno Costa. (2009).



**Foto 5.3:** Árvores de mangue totalmente mortas devido os efeitos do avanço da linha de costa e a abertura de uma nova barra. Foto: Bruno Costa. (2010).

### 5.3 Análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009

A análise da migração dos campos de dunas móveis foi feita para toda a área de estudo, sendo fundamental o seu mapeamento para a confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental ao soterramento do manguezal por parte dos sedimentos dunares. Por isso, nesse estudo, foi realizada a análise multitemporal das dunas móveis ocorrentes na área (Figura 5.8).

O campo de dunas móveis apresenta-se como relevo instável, com um intenso processo natural de migração. A migração dessas areias ocorre na porção sudeste da área estudada, frequentemente soterrando diversos ambientes ali encontrados como: lagoas costeiras temporárias e permanentes, área urbana, manguezal e tabuleiro costeiro dentre outros.

Os sedimentos eólicos móveis são oriundos de sedimentos marinhos da plataforma rasa, transportados pela variação de ventos que sopram de Nordeste (Farias, 1997). Quando estes sedimentos são disponibilizados nos pontais arenosos e na zona de estirâncio pela dinâmica costeira, geram as células sedimentares costeiras (Nascimento, 2009). A atuação de ventos Leste para Oeste, de Nordeste para Sudoeste e de Sudoeste para Noroeste e uma constante presença dos ventos alíseos na região, combinado com as brisas marinhas, geram condições para a sua estabilização. As condições climáticas como direção e velocidade dos ventos, insolação, precipitação pluviométrica e temperatura atmosférica, incorporados aos dados oceanográficos e de morfologia de fundo, encontrando uma média de vento constante acima de 5 m/s influenciam fortemente nos processos costeiros, propiciando condições para originar os depósitos de dunas móveis.

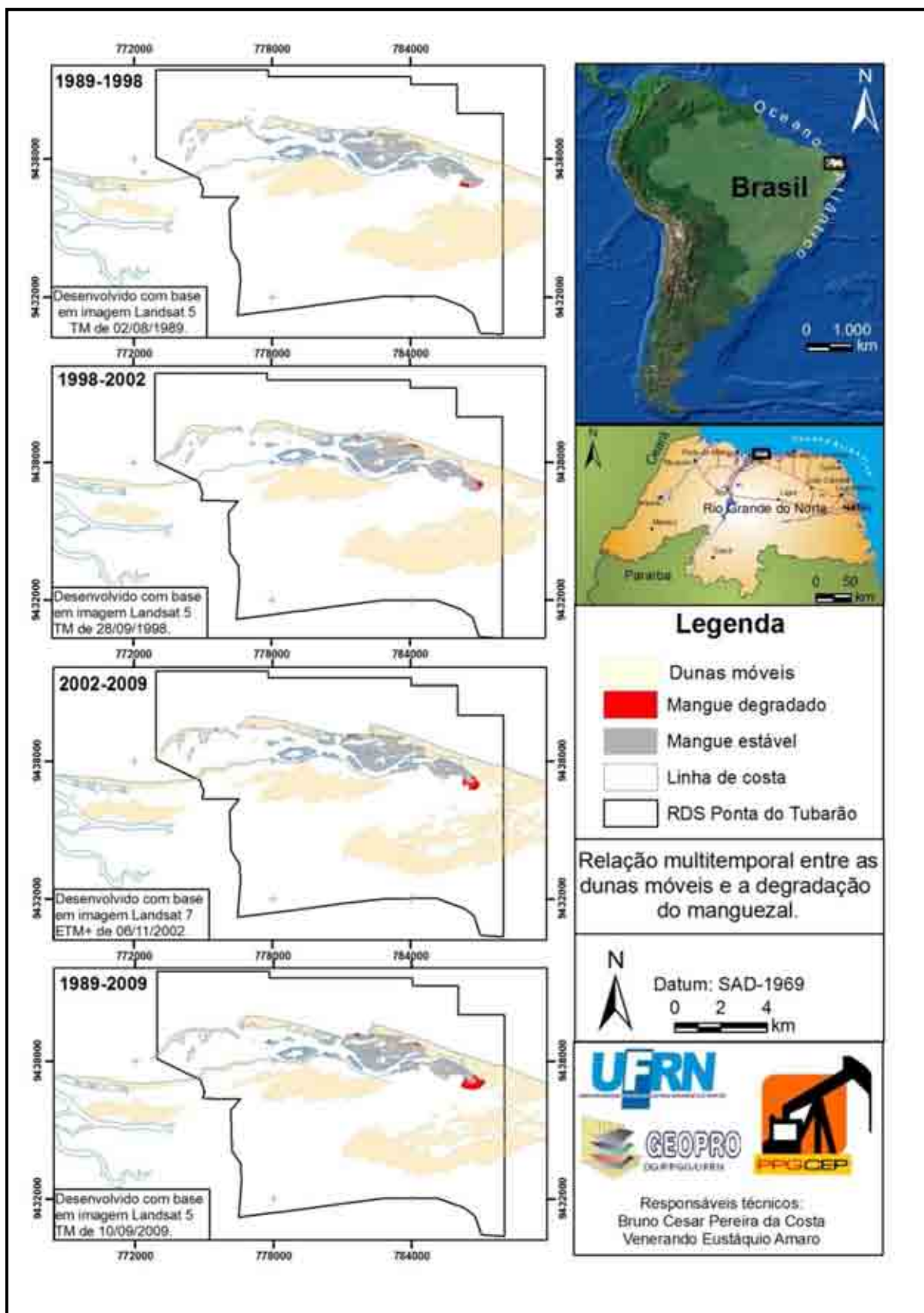


Figura 5.8: Mapa de análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009.

O potencial cênico dessas paisagens, associado à riqueza dos recursos naturais, tem incentivado uma ocupação do solo desordenada, apesar de parte da área estar localizada em áreas de Unidades de Conservação Ambiental. Qualquer intervenção na área sem um profundo conhecimento de sua origem poderá acarretar impactos ambientais diversos, dentre os quais destaca a retirada das areias das dunas móveis, o que pode interferir nas condições naturais de recarga do aquífero raso que abastece a planície estuarina da RDSEPT e em caso de déficit da recarga podendo culminar no avanço da cunha salina em direção ao continente; a ocupação irregular proveniente da expansão humana, tanto nas áreas urbanas, como exemplo as Comunidades de Barreiras e Diogo Lopes, A intensidade da interferência antrópica também vem influenciando cada vez mais no desenvolvimento e manutenção destes ambientes.

O histórico de migração de dunas neste compartimento geomorfológico já fez com que grandes regiões, inclusive comunidades inteiras, como é o caso de Mangue Seco de Fora e Quixaba. A (foto 5.4) mostra uma lagoa sendo aterrada devido migração das dunas móveis. A (foto 5.5), mostra também uma realidade bem comum na região, que é a ocupação de antigas propriedades.



**Foto 5.4:** Campo de dunas móveis em estado migratório causando o soterramento de lagoas temporárias. Foto: Arquivo GEOPRO. (2007).



**Foto 5.5:** Campo de dunas móveis em estado migratório causando o soterramento de propriedades rurais. Foto: Arquivo GEOPRO. (2007).

A (figura 5.9) também mostra a análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009, porém, nesta, pode-se observar todos os campos de dunas analisados sobrepostos um sobre o outro, para cada data analisada, permitindo assim uma avaliação comparativa mais detalhada no que se diz respeito ao avanço destes campos sobre o manguezal.

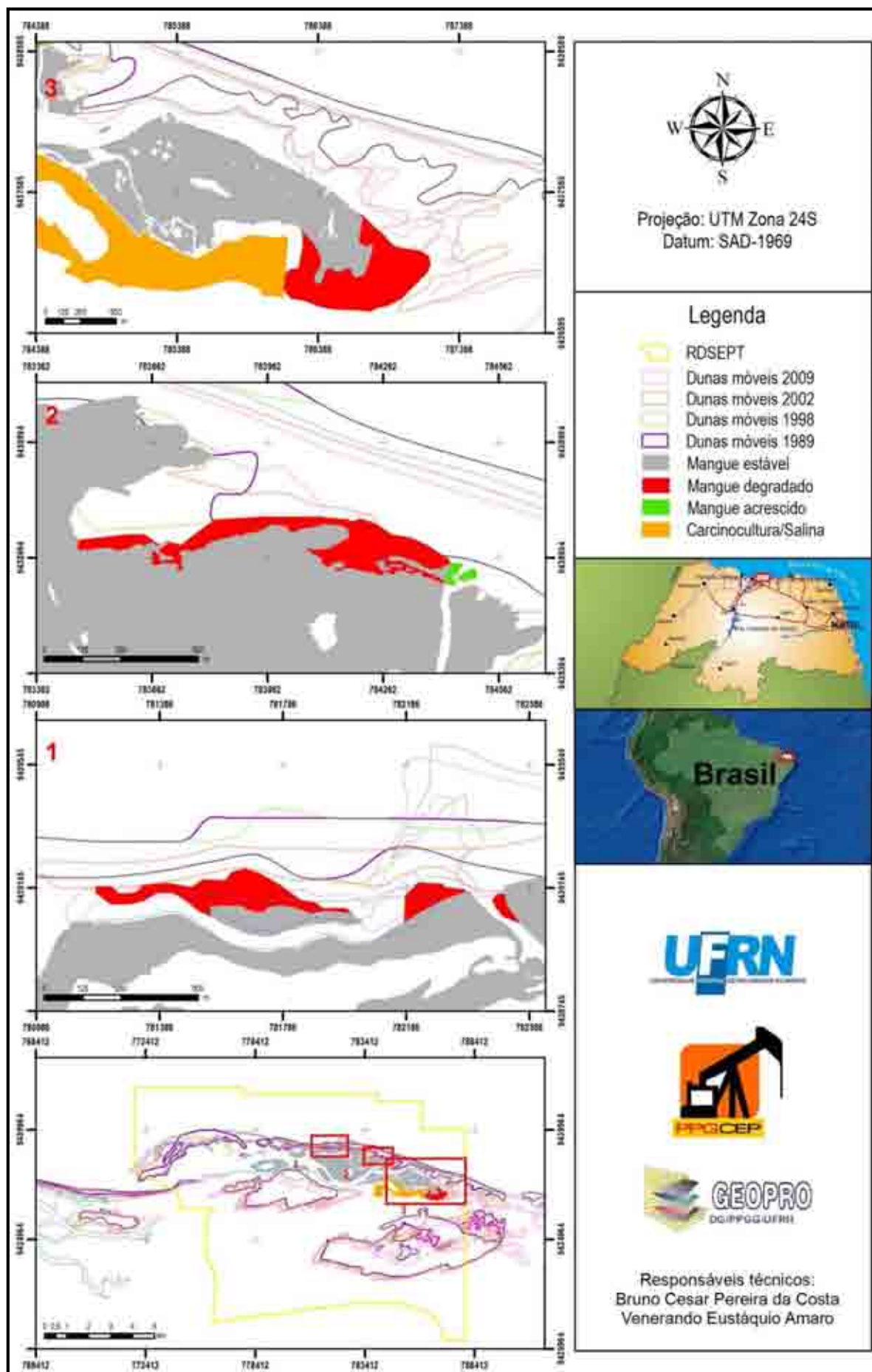


Figura 5.9: Mapa de análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009.

Na (figura 5.9) (indicativo [3]), percebe-se, notoriamente, o processo migratório no sentido nordeste sudoeste do campo de dunas na parte mais ao leste desta figura em direção do manguezal onde, em 2002, este campo encontrava-se apenas bem próximo ao manguezal. Porém, no ano de 2009 estas dunas entraram em contato direto com o manguezal, causando os impactos já mencionados antes. Deve-se lembrar que não necessariamente as dunas precisaram estar em contato direto com as florestas de mangue para matá-las. Uma simples proximidade entre ambas já se torna suficiente para tal, pois a ação dos ventos capazes de promover a remobilização de pequenas quantidades de sedimentos dunares para o manguezal já é suficiente, levando-se em conta que as espécies de mangues são muito sensíveis a mudanças na composição sedimentar, em seu ambiente natural. Deve-se lembrar, também, que o barramento de canais de maré responsáveis pela manutenção de equilíbrio sedimentar, na área, por parte das construções de taludes para viveiros de camarão intensificou, ainda mais, o sufocamento destas florestas de mangue por parte dos sedimentos provenientes das dunas móveis. Nesta mesma figura, podemos perceber que os campos de dunas mais do centro para Noroeste da imagem, paralelos à linha de costa, também sofreram um processo migratório, sendo que nestes locais, este se deu no sentido N-S que, por sua vez, também é o sentido de avanço da linha de costa em direção aos manguezais. Nestes locais, o maior contato entre manguezal e dunas também se deu no ano de 2009. Logo os anos antecedentes já causavam impactos significantes neste ambiente.

#### **5.4 Análise multitemporal dos impactos antrópicos na RDSEPT**

As características estruturais e funcionais das florestas de mangue são determinadas pela interação de características ambientais, que atuam em escalas global, regional e local. Todavia, em áreas submetidas à forte influência de atividades humanas, a ação de distúrbios deve ser fortemente considerada. Dessa forma, as características estruturais dos manguezais da RDSEPT para esse propósito foram estudadas durante os anos de 1954 e 1989 (Figura 5.10). A região estudada apresenta uma alta diversidade ambiental, refletindo a ação de tensores, que determinam diferentes graus de degradação e estágios de regeneração (Tabela 5.1).

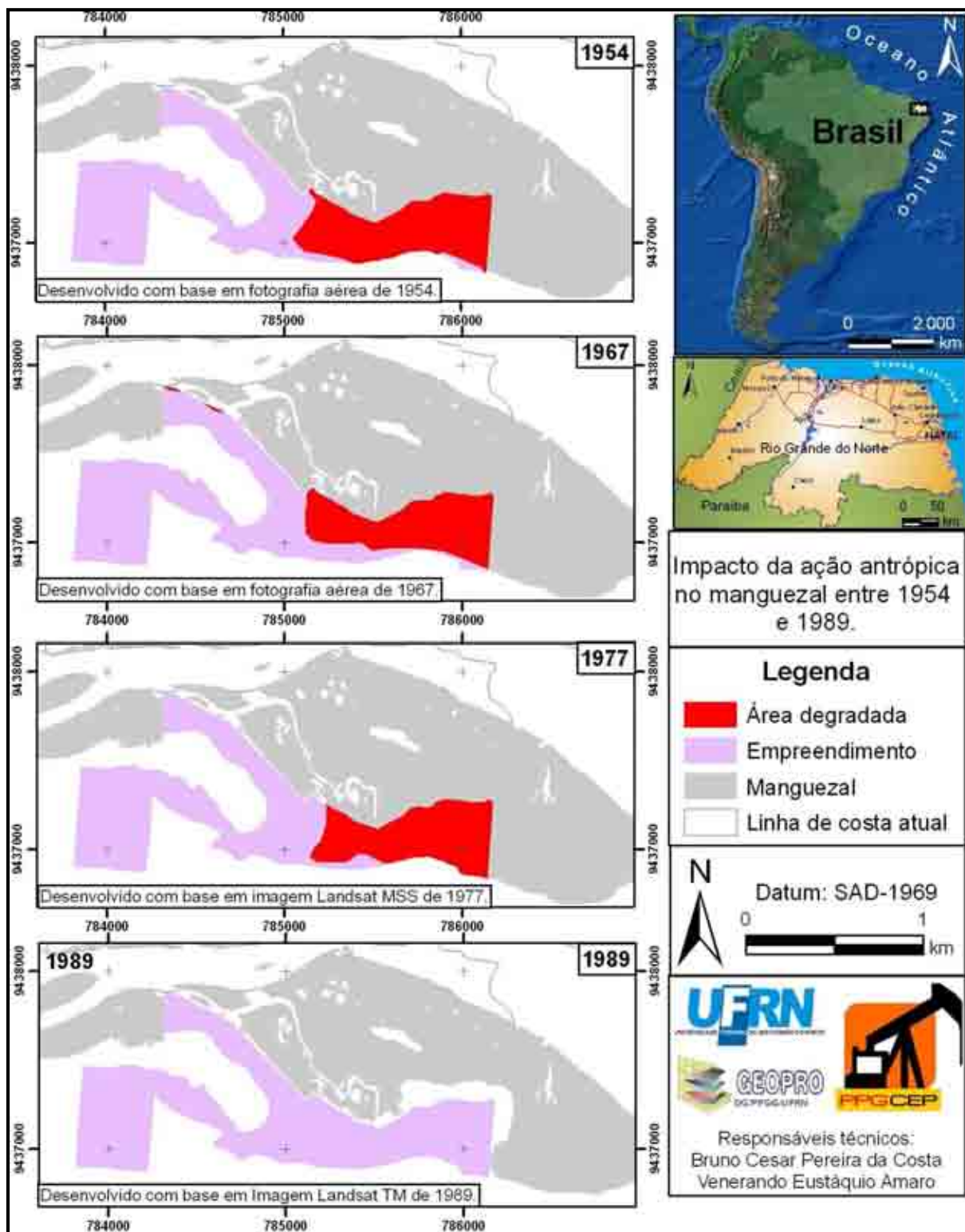


Figura 5.10: Análise multitemporal para impactos antrópicos na RDSEPT entre os anos de 1954 e 1989.

**Tabela 5.1.:** Tabela de cálculo da área de manguezal da RDSEPT ocupado por impactos antrópicos nos anos de 1954 e 1989.

ANO	Área (m <sup>2</sup> )	Área (Ha)
1954	316.190,84	31,61
1967	278.465,79	27,84
1977	282.138,31	28,21

No entanto, quando tratamos de bosques de mangue em regiões de influência de atividades antrópicas, devemos adicionar às condições ambientais naturais citadas ao efeito de diferentes tensores. Dessa forma, nessas áreas, as características estruturais e funcionais dos manguezais serão uma resultante da interação entre características ambientais e efeito de tensores. Esse cenário se torna ainda mais complexo ao tratarmos de sistemas submetidos a diversos tensores, que não é tanto o caso da RDSEPT, onde devemos considerar, além das características individuais de cada tensor (indústria salineira e de carcinocultura principalmente), incluindo sua variabilidade espaço-temporal e de intensidade, a possibilidade de sinergismo.

Sem dúvida alguma, o grande desafio da atualidade, no que se refere aos manguezais da RDSEPT, após a perda acentuada de sua área original tanto em termos naturais quanto de forma antrópica, diz respeito à manutenção da integridade estrutural e funcional dos mesmos. O sucesso de tal empreitada virá a contribuir enormemente com a recuperação da qualidade ambiental e social da região, principalmente se considerarmos a grande variedade funcional e de bens e serviços, fornecidos gratuitamente pelo ecossistema manguezal. No entanto, podemos constatar que são poucos os estudos que tratam dos manguezais da RDSEPT, no que diz respeito aos aspectos estruturais, funcionais e de sua dinâmica, através de uma abordagem quantitativa adequada.

### 5.5 Análise multitemporal das florestas de mangue de 1989 a 2009

As análises multitemporais representam o acompanhamento da evolução de determinados objetos em intervalos de tempo distintos (Souto, 2004). Para a área em estudo, a interpretação de imagens de sensoriamento remoto proporcionou a elaboração de mapas com caráter multitemporal para as unidades geomorfológicas caracterizadas como floresta de mangue. O período compreendido apresenta um intervalo de tempo de aproximadamente 20 anos (LANDSAT 5 TM 02/08/1989, 28/09/1998 e 10/09/2009 e imagem LANDSAT 7 ETM+ DE 11/06/2009).

Como o intuito maior da atividade de processamento digital foi de realçar os manguezais da RDSEPT, foram aplicados para tal finalidade, os processamentos com a transformação usando a técnica de análise por RGB que posteriormente convertido para H e depois mais uma vez para RGB. Transformação das composições RGB:

R5G4B3 para H1 em R

R4G2R1 para H2 em G

R7G3B2 para H3 em B

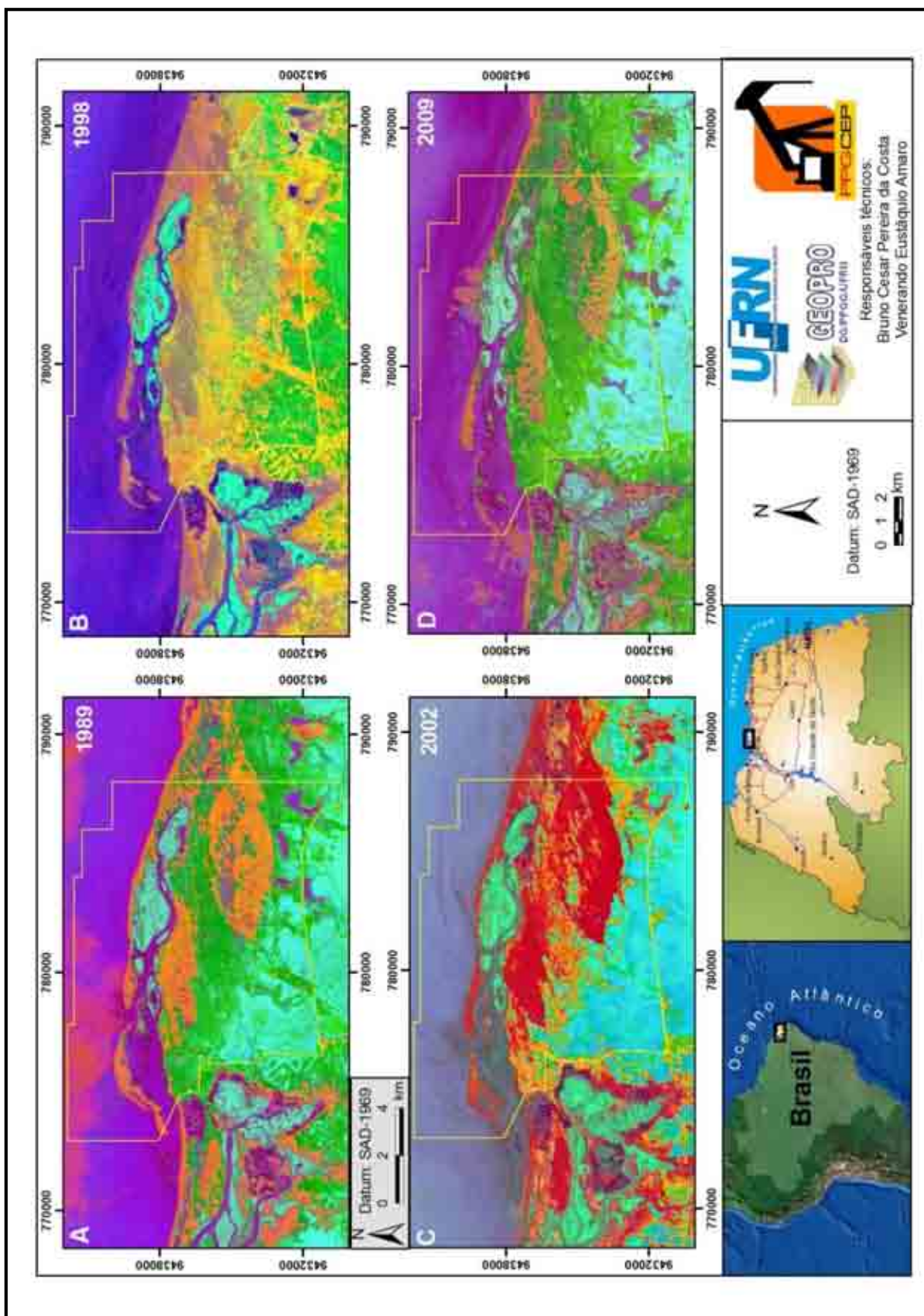
Combinação em RGB:

H1 em R

H2 em G

H3 em B

Na (figura 5.11) para as composições acima citadas a vegetação densa de manguezal apresentaram-se em coloração verde-claro a azul-claro, por vezes com cores azuis-acinzentadas devido à presença de faixas de mangues mortos que por sua vez não apresentam mesma resposta espectral da vegetação estável, informações estas todas constatadas *in loco*. Estas composições foram utilizadas para a análise multitemporal da vegetação de mangue na RDSEPT.



**Figura 5.11:** Imagem [A] LANDSAT 5-TM 28/09/1988 RGB-H1-H2-H3, imagem [B] LANDSAT 5-TM 02/08/1988 RGB-H1-H2-H3, imagem [C] LANDSAT 7-ETM + 10/09/2002 RGB-H1-H2-H3, imagem [D] LANDSAT 5-TM 11/06/2009 RGB-H1-H2-H3.

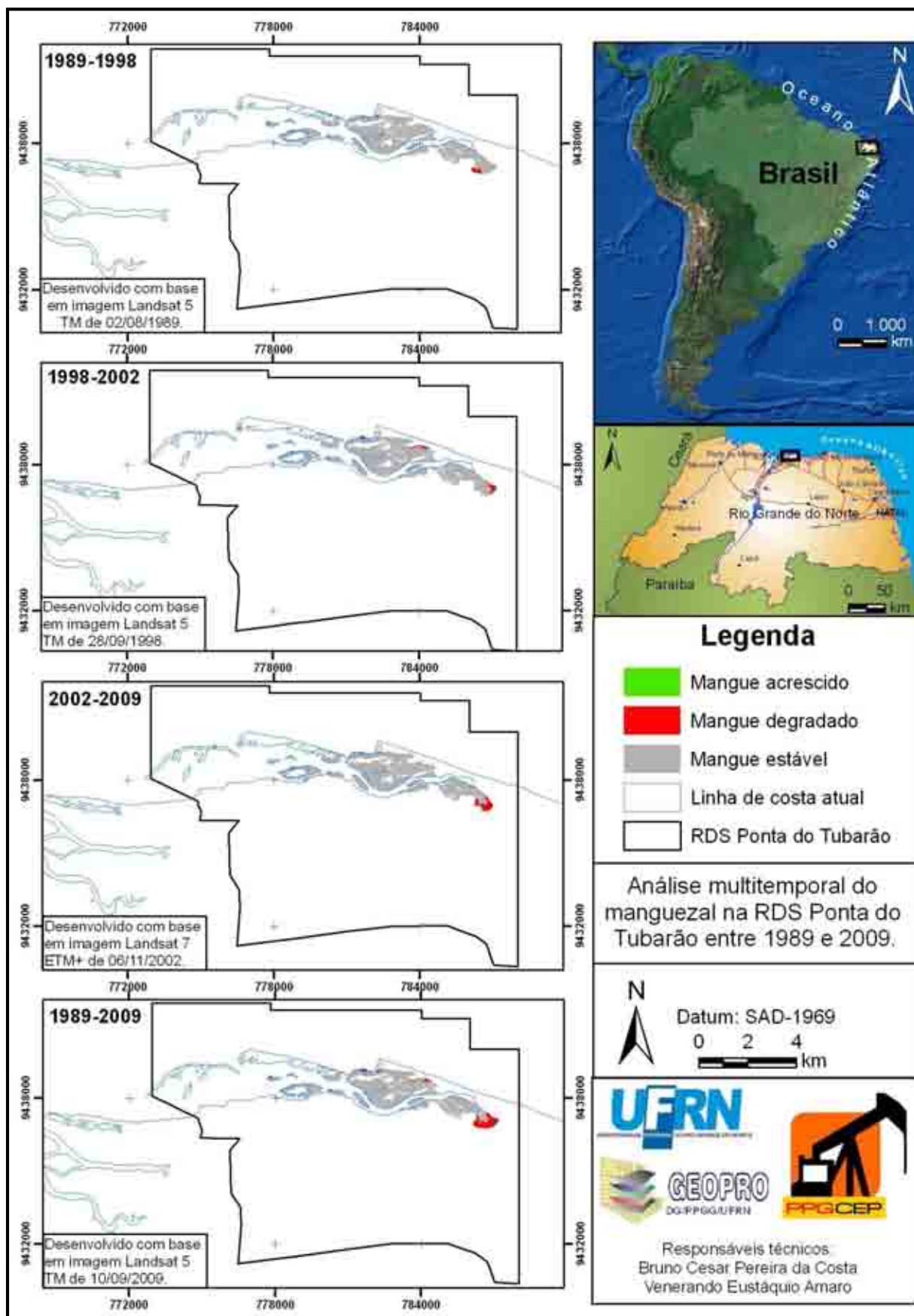


Figura 5.12: Mapa de análise multitemporal do manguezal de 1989 a 2009.

A (figura 5.13) mostra uma situação no mínimo bastante preocupante em relação à situação atual do manguezal, onde podemos observar grandes áreas em avançado estado de degradação.

O avanço no cultivo do camarão ainda segue representando uma ameaça. A indústria do camarão em cativeiro, a chamada carcinicultura, cresceu de maneira explosiva nos manguezais do Rio Grande do Norte. Mas esta atividade econômica também está provocando problemas e polêmicas na mesma velocidade. Isso ocorre porque a produção de camarões está concentrada nos manguezais.

Os criadores de camarão procuram o mangue por motivos ambientais e econômicos. Além da água ser de boa qualidade, não precisa ser bombeada para os viveiros, o que barateia bastante a atividade. A maré faz o trabalho da máquina, de graça. A curto prazo, portanto, o cultivo de camarão no mangue é altamente rentável. O histórico da atividade em outros países, contudo, mostra que a criação de camarão no mangue é insustentável a longo prazo.

Todos estes impactos ambientais contribuíram para a diminuição da qualidade ambiental, tendo como consequência direta da redução das áreas de mangues (Figura 5.13 [indicativo 3]) e a diminuição na quantitativa da biota que vivem nos ecossistemas de manguezais, principalmente aquelas de importância sócio-econômica, assim como as demais espécies que dependem indiretamente, ao longo dos seus ciclos biológicos, dos ecossistemas de manguezais, acarretando sérios prejuízos para toda a biodiversidade costeira.

Com base no mapeamento utilizado para a delimitação das áreas ocupadas pelos ecossistemas de manguezais da RDSEPT, foram constatadas manchas bastante significativas referentes às áreas ocupadas por este tipo de empreendimento, onde verifica-se as influências diretas das variações decorrentes do ciclo da marés, principalmente naquelas áreas situadas ao longo das margens dos canais. Entretanto, nem todas as alterações ambientais existentes na área mapeada e ocupadas pelo empreendimento foi possível de serem analisadas, devido à base de dados utilizada ter sido construída contemplando apenas a parte terrestre emersa.

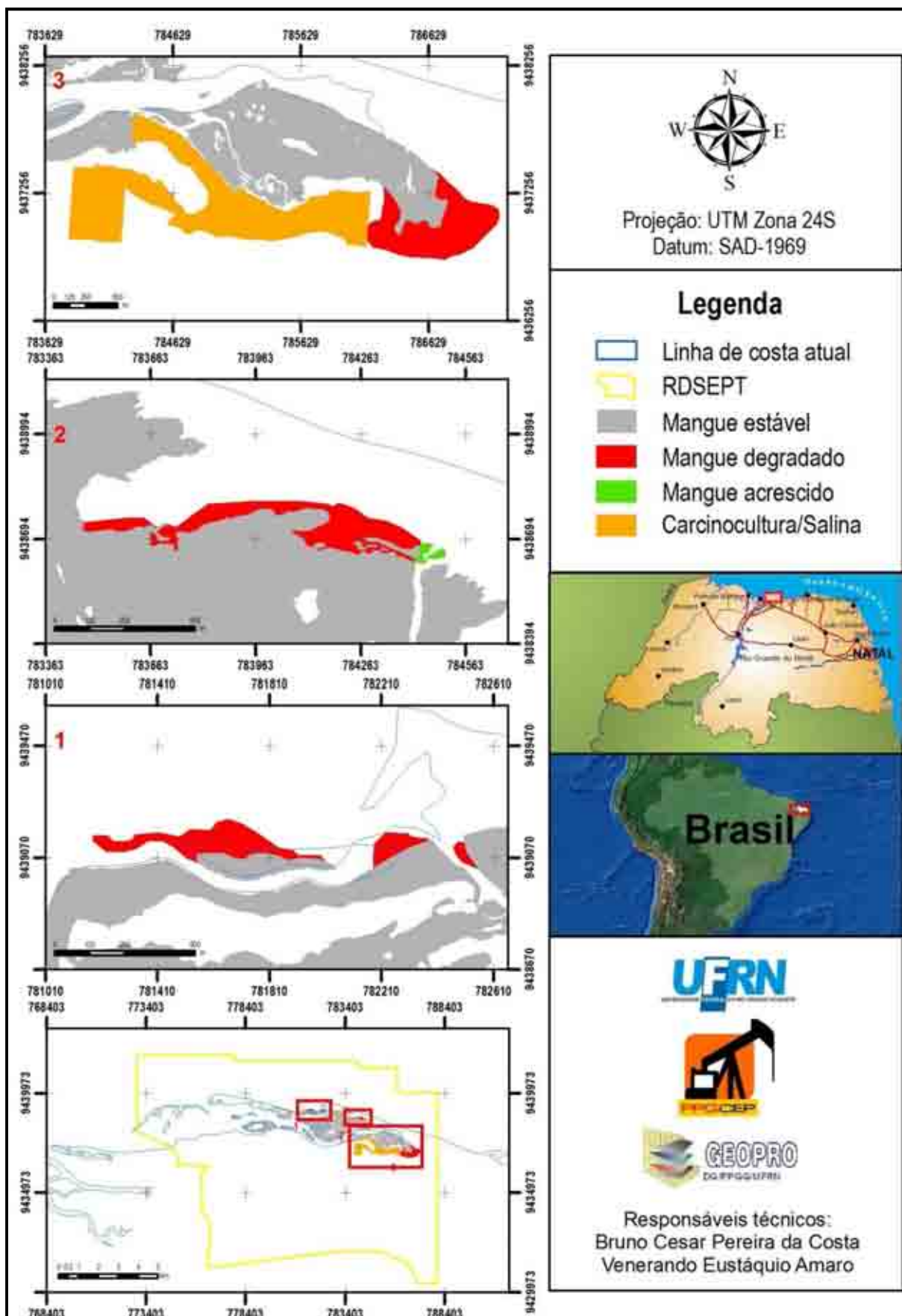


Figura 5.13: Mapa de análise multitemporal do manguezal de 1989 a 2009.

No limite leste do manguezal (Diogo Lopes), verificou-se grande parte da vegetação de mangue morta e em avançado estado de degradação. Essa situação se deve à ação dos ventos alísios, relacionados à posição geográfica da linha de costa e direção de migração dos campos de dunas móveis, nos quais os sedimentos eólicos podem atingir a margem de sistemas flúvio-marinhos como manguezais, ocorrendo primeiramente a colmatagem das raízes das árvores de mangue, ou seja, sufocando-as e enfraquecendo todo o vegetal, pois nas raízes das árvores de mangue encontram-se estruturas chamadas de pneumatóforos que juntamente com as folhas são responsáveis pela respiração destas espécies. Com o passar do tempo é inevitável o soterramento de vastas áreas como podemos verificar na (Figura 5.14) (indicativo s [G], [H] e [I]).

Agregado a estes fatores também podemos apontar como causa da morte desta área de manguezal a construção de um grande empreendimento de carcinicultura bem próximo ao manguezal atualmente morto. Tal empreendimento exigiu uma grande devastação de áreas de manguezal assim como a remobilização de sedimento para a construção dos taludes para os viveiros, no qual não foi respeitada a dinâmica e a importância dos canais de maré para a alimentação e manutenção deste ambiente, provocando assim grande impacto local como, por exemplo, a mudança na dinâmica natural das dunas móveis (Fotos 5.6 e 5.7). Tal empreendimento encontra-se desativado desde o ano de 2004, o que deveria gerar a implantação de um Programa de Restauração de Áreas Degradadas (PRADE) para proporcionar a Restauração Ecológica da área em questão seguindo a proposta de Lewis III (2001) *apud* Nascimento (2009). Segundo Lewis III (2001), a restauração ecológica é definida como o processo de reparação de perdas causadas pelo homem para a efetividade da dinâmica e diversidade de ecossistemas naturais. A partir da aplicação deste conceito, sugere-se desenvolver tecnologias sustentáveis, seguindo os seguintes passos:

- Identificar qual ação antrópica é responsável pela erosão;
- Mapear as áreas inoperantes que estão contribuindo para a baixa resiliência na área;
- Descomissionar as áreas inoperantes;
- Após descomissionar, monitorar a restauração da área sem nenhuma técnica aplicada;
- Definir que técnica de Engenharia Costeira *Soft* será desenvolvida;
- Intervir com engenharia *soft* para restaurar o balanço sedimentar após autorização do órgão ambiental.
- Monitorar a restauração da área após a implantação da técnica definida.

a.1- Reativação, manutenção e monitoramento de projetos de engenharia tipo *soft* em áreas com projetos já implementados: Fazer o mapeamento de projetos já implementados, avaliar e reativar caso necessário, sendo fundamental o seu monitoramento.

a.2- Instalação e monitoramento de projetos de engenharia tipo *soft* em área com projeto ainda não implementado:



**Foto 5.6:** Construção de taludes de viveiros para empreendimento de carcinicultura nas proximidades do manguezal, provocando o barramento de canais de alimentação e drenagem do manguezal. Foto: Bruno Costa. (2008).

**Foto 5.7:** Instalação de casa de bombas para a retirada de água do estuário para manutenção dos viveiros no empreendimento de carcinicultura Foto: Bruno Costa. (2008).



No limite norte, podemos observar duas grandes faixas também em avançado estado de degradação, ambas devido ao avanço da linha de costa, sendo que a mais a oeste deve-se pelo impacto direto entre a vegetação de mangue e ondas do mar. O contato direto destas ondas provoca o carreamento de todo o sedimento argiloso existente no mangue que, por sua vez, é de suma importância para a sobrevivência deste ecossistema que, com isso, tende a morrer (Figura 5.14) (indicativos [E] e [F]). Enquanto isto, a faixa mais ao leste é devida ao soterramento das árvores por parte do sedimento proveniente do avanço da linha de costa, que por se tratar do mesmo sedimento de dunas móveis, tende a provocar o mesmo impacto nestas populações (Figura 5.14) (indicativos [C] e [D]).

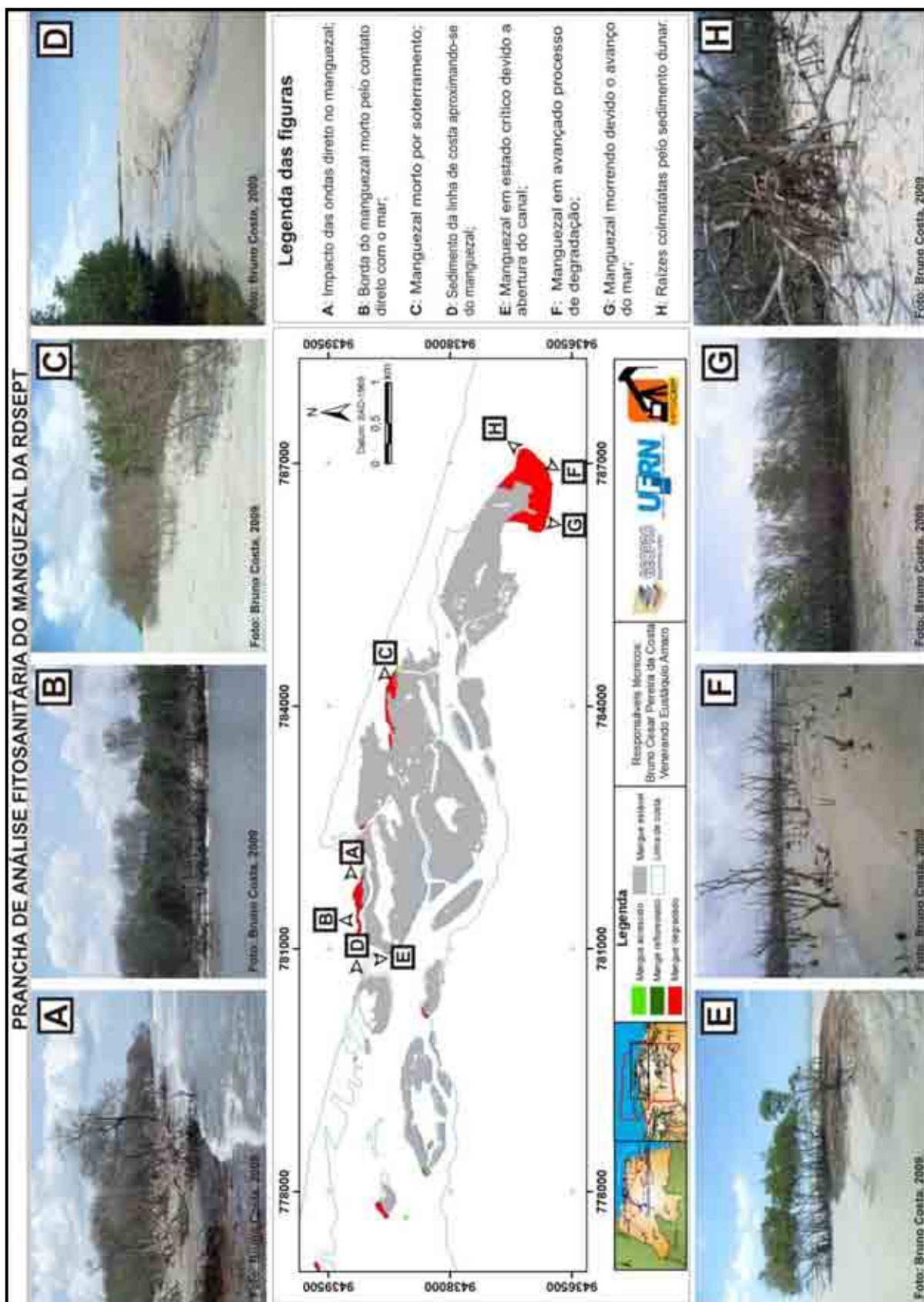
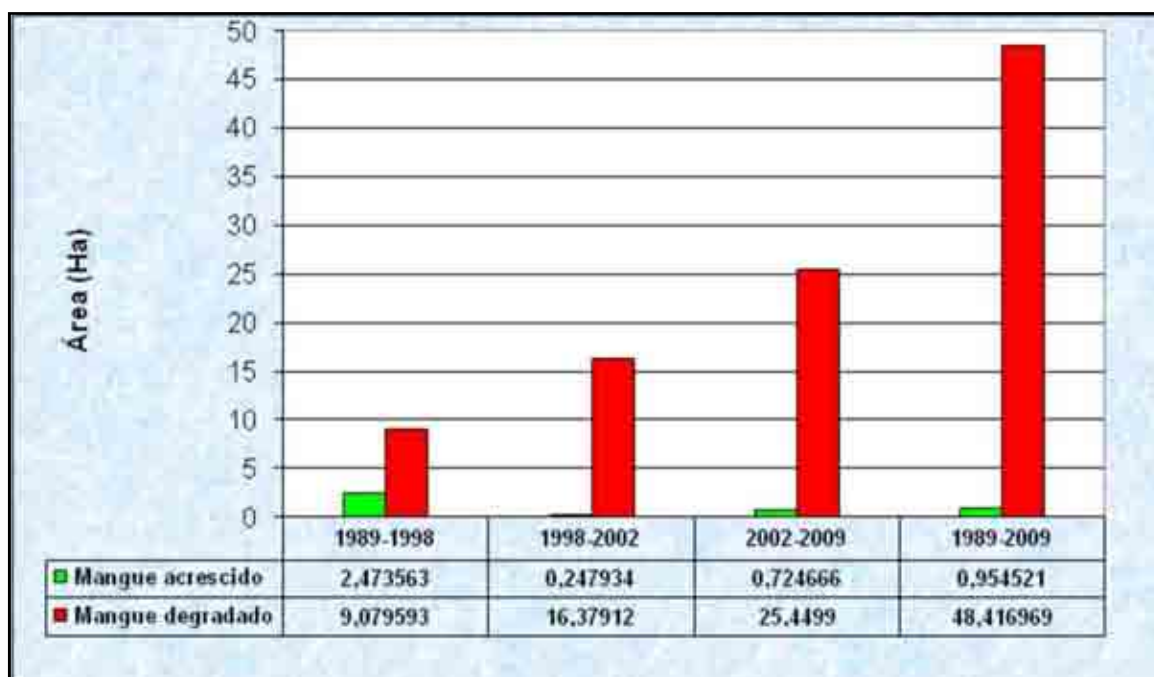


Figura 5.14: Localização das áreas de manguezal impactadas na área do estudo com respectivas fotos.

A (figura 5.15) mostra a quantificação da relação entre o mangue acrescido naturalmente e o mangue degradado, ambos em hectares, revelando uma realidade pouco animadora quando se trata da situação geral de conservação do manguezal da RDSEPT onde, ao longo de 20 anos, o manguezal degradado hoje é de 48,5 ha enquanto que o mangue acrescido naturalmente é de apenas 0,96 há, aproximadamente, o que mostra uma situação muito preocupante e que necessita também de intervenções antrópicas no intuito de minimizar tal situação.



**Figura 5.15:** Gráfico de quantificação do balanço entre mangue morto e mangue nascido em hectares de 1989 a 2009.

## 5.6 Prognóstico

No caso dos estudos de variação do nível médio do mar e o seu impacto sobre os manguezais, a função atribuída aos manguezais, de estabilização da linha de costa, evitando a erosão da mesma e o assoreamento dos corpos d'água adjacentes, associada à posição dos manguezais na zona entre-marés, tornando este ecossistema particularmente vulnerável a estas variações, torna-se de grande interesse. Assim sendo, apesar do sistema radicular destes vegetais (raízes-escora e pneumatóforos) favorecer a retenção e deposição de sedimentos, os mesmos são altamente vulneráveis a alterações na hidrodinâmica, que provoquem um aumento da energia hidrológica do local, o que pode causar erosão e a consequente destruição das florestas de mangue, visto ser o seu sistema radicular bastante superficial.

Segundo Woodroffe (1990), a elevação do nível do mar terá impactos amplos e afetará grande número de cidades costeiras e ecossistemas naturais. Ecossistemas sub-tidais serão afetados, tais como recifes de coral e bancos de algas e fanerógamas marinhas, visto que a profundidade das águas (e em alguns casos a energia de ondas) aumentará. Ecossistemas terrestres serão afetados, especialmente os existentes em terras baixas, visto que estas poderão ser inundadas e haverá um aumento da incidência de tempestades. No entanto, os ecossistemas mais seriamente afetados serão sem dúvida aqueles que ocupam as zonas entre-marés.

É importante considerarmos que, com a atual base de conhecimento e de dados, disponíveis, se torna muito subjetiva, a apresentação de comportamentos precisos para os distintos cenários apresentados (40, 60 e 140 cm de elevação do nível do mar, em um horizonte de 100 anos). Todavia, podemos destacar, que o comportamento de acomodação das florestas de mangue, através da migração em áreas com planícies costeiras, depende da taxa com que essa elevação ocorrerá, de forma que a mesma seja compatível com a taxa de colonização de novas áreas por novas coortes de espécies de mangue.

Ellison e Stoddart (1991), afirmam que os manguezais resistirão a taxas de elevação do nível do mar entre 8 e 9 cm/100 anos, ficarão sob estresse com taxas entre 9 e 12 cm/100 anos e não existirão de forma ampla (somente em refúgios) com taxas acima destes valores. Contudo, esses autores consideram regiões com baixas taxas de sedimentação e, portanto baixa compensação da elevação do nível médio do mar.

Por fim, deve-se destacar a necessidade de serem considerados outros fenômenos e fatores, que afetarão os manguezais de forma direta ou indiretamente, além da elevação do nível médio do mar, cujos cenários devem ser considerados. Dentre esses, os cenários de temperatura, precipitação, evaporação e balanço hídrico, os quais regem tanto os processos fisiológicos das espécies de mangue, deixando-as mais suscetíveis a estresses adicionais, além de processos na escala de paisagem, como por exemplo, as taxas de aporte de sedimento e deposição dos mesmos. Devemos considerar ainda, o efeito do aquecimento global sobre a ocorrência de eventos extremos, tais como o aumento da frequência e intensidade de tempestades, as quais afetam diretamente a estabilidade das florestas de mangue.

## 5.7 Inventário e caracterização do ecossistema manguezal da RDSEPT

O inventário florestal constitui um procedimento básico para se obter informações fitogeográficas dos povoamentos (distribuição geográfica dos vegetais em diversas regiões conforme o clima e fatores adaptativos). De forma que possam ser estabelecidas as relações pertinentes para obtenção de informações a fim de se conhecer o grau de conservação da cobertura vegetal do manguezal da RDSEPT, visando o reconhecimento dos tipos vegetacionais, como também, a elaboração de uma carta temática para melhor visualização espacial da distribuição das espécies, assim como a realização de cálculo de áreas.

A RDSEPT possui uma área de 12.960 hectares na qual os manguezais ocupam uma área hoje de, aproximadamente, 530,18 hectares representando 4,4% desta (Figura 5.16). Distribuem-se ao longo de suas margens e ilhas (bancos de sedimento), formando faixas de largura variável, por vezes interrompidas por elevações do terreno. As espécies vegetais típicas encontradas foram *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* Gaertn. f. e *Avicennia germinans* L., formando, geralmente, bosques monoespecíficos. *A. germinans* é a espécie dominante em geral. As espécies presentes no manguezal ocupam locais diferentes da zona intermarés, apresentando características distintas com relação à frequência de inundação pelas águas estuarinas, textura do sedimento, salinidade intersticial, processos geomorfológicos, entre outros.

A maior parte da vegetação de mangue mapeada foi classificada como mangue médio-alto que, na área de estudo, pode alcançar altura aproximada de 10 m. A referida classe (tonalidade verde e amarelo) diz respeito à vegetação mais densa da área, com maior grau de desenvolvimento conhecido como manguezal. Compreende, predominantemente, *A. germinans* nas porções mais ao oeste. Nas porções mais ao leste predomina a espécie *R. mangle*. Em alguns locais, ocorrem associações entre indivíduos de *A. germinans* e *R. mangle*, sendo esta a associação mais comum na área. Porém, outras associações entre *L. racemosa* e as demais espécies ocorrem com menos frequência, podendo também ocorrer a presença de todas as espécies no mesmo local. Essas características refletem a presença de condições abióticas favoráveis ao seu desenvolvimento, considerando-se as características estruturais descritas por (Schaeffer-Novelli, 1990), para manguezais deste segmento da costa brasileira. Corresponde às áreas onde a topografia apresenta baixa declividade, o substrato é composto por sedimentos finos, pouco consolidados sujeitos a uma maior frequência de inundação. A biogeografia justifica a espacialização das espécies na região.

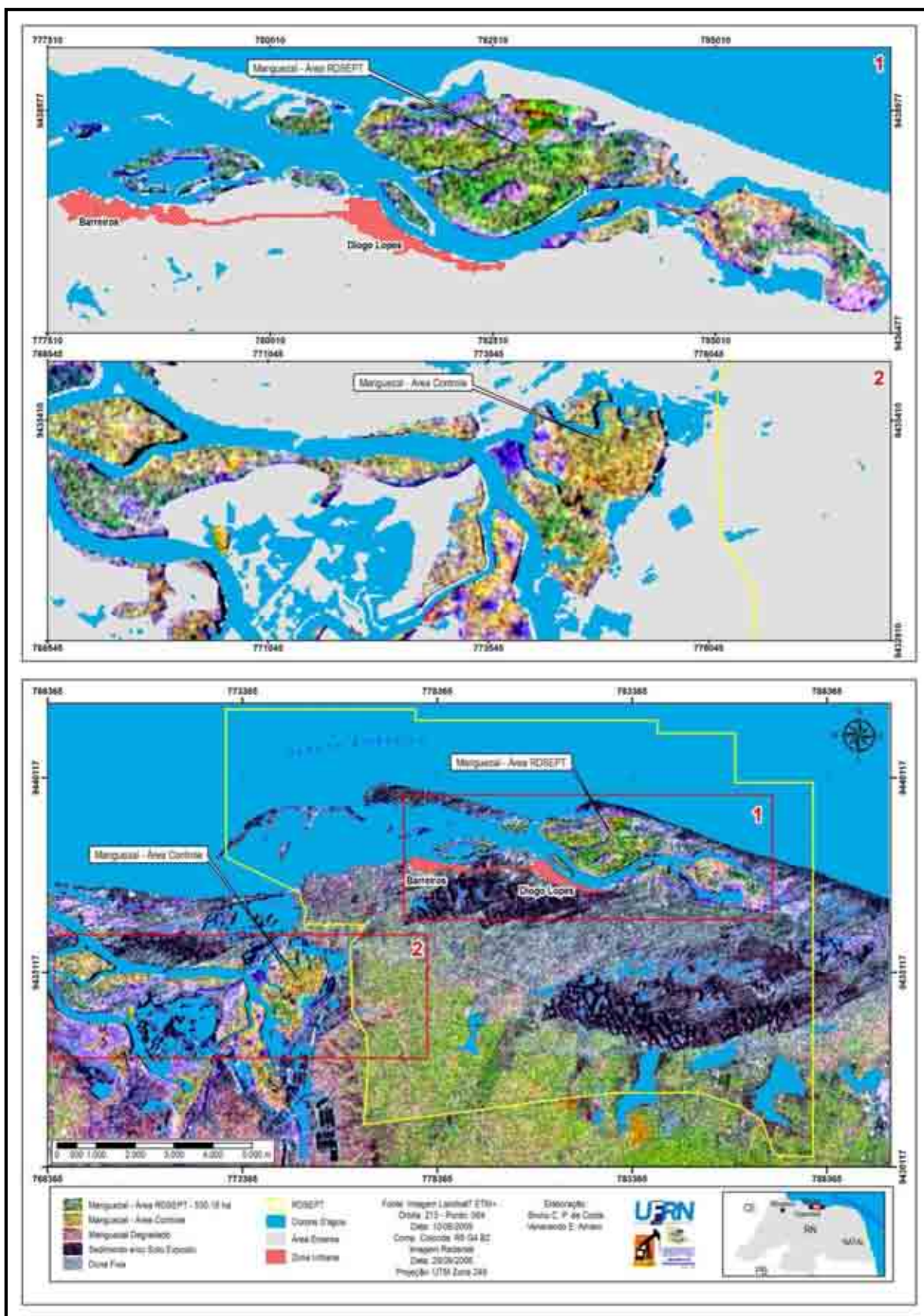
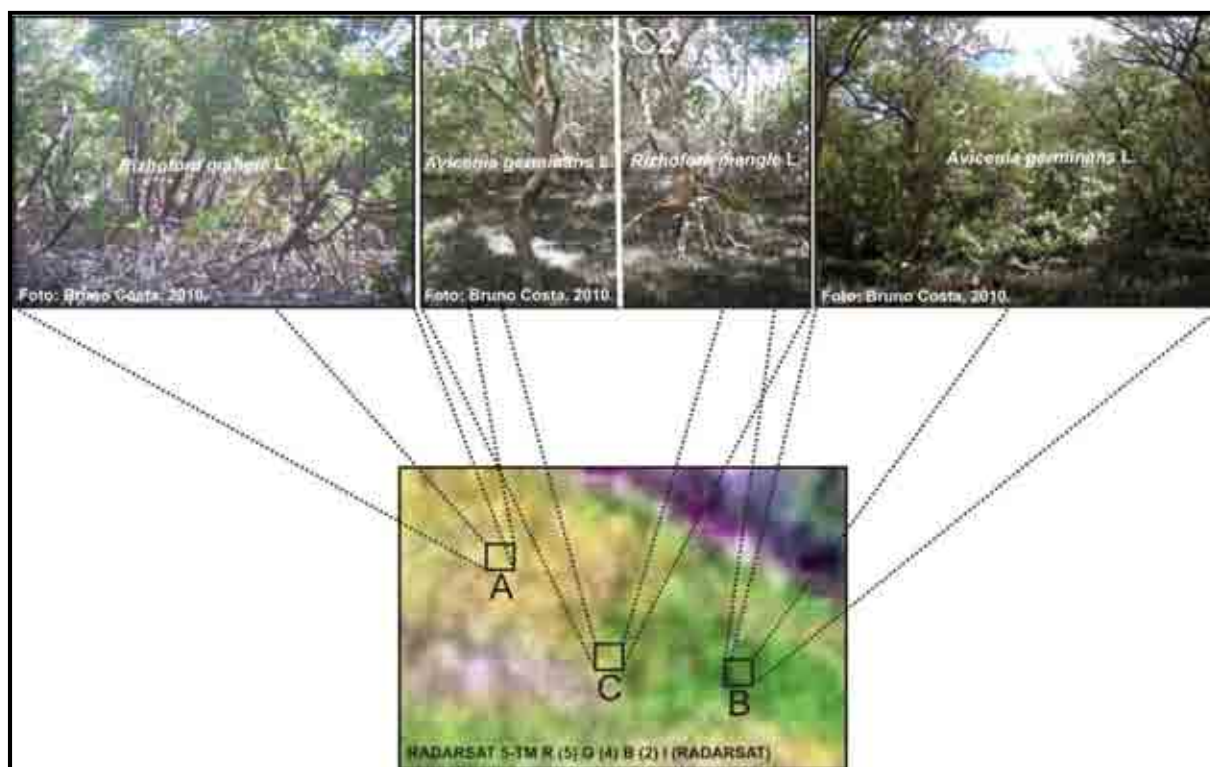


Figura 5.16: Mapa de análise taxonômica do manguezal da área de trabalho, [1] manguezal da RDSEPT, [2] manguezal da área de controle. LANDSAT 5-TM 2009 R (5) G (4) B (2) I (RADARSAT-1).

Na (figura 5.17) observa-se claramente a diferença entre a resposta espectral para as espécies de mangue, onde em [A]: ocorre a existência exclusiva de *Rizophora mangle* L. e em [B]: a presença exclusiva de *Avicenia germinans* L.. Porém em [C]: ocorre o contato entre as espécies. Acredita-se que a diferença na resposta espectral responsável pela distinção entre as espécies de mangue esteja relacionada com a densidade das folhas, ramos e galhos, onde *Avicenia germinans* L. possui uma maior densidade em relação à *Rizophora mangle* L.,. Podemos observar esta comparação nas (fotos 5.8 e 5.9).



**Figura 5.17:** Diferença na resposta espectral para *Rizophora mangle* L. e *Avicenia germinans* L..



**Foto 5.8:** Face abaxial do dossel de *Rhizophora mangle* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).



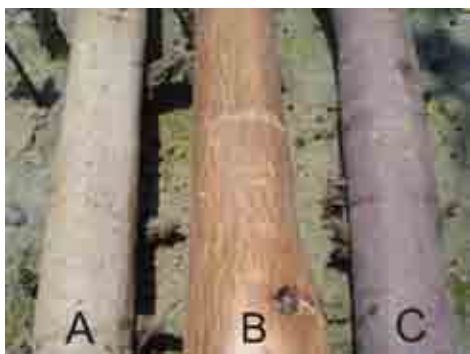
**Foto 5.9:** Face abaxial do dossel de *Avicenia germinans* L.. Foto: Bruno Costa. (2008).

## 5.8 Estrutura dos bosques de mangue da RDSEPT

Para o estudo dos parâmetros estruturais foi utilizado o método do quadrante centrado, segundo Schaeffer-Novelli e Cintrón, (1986). A altura das árvores foi estimada, usando-se como base de referência uma régua de aproximadamente 6 m de altura. O diâmetro do fuste foi medido à altura do peito (1,3 m), sendo que em indivíduos de *Rhizophora* este parâmetro foi medido acima da última raiz escora. Árvores com diâmetro menor que 2,5 cm não entraram no inventário e aquelas com mais de um tronco foram consideradas como um único indivíduo. Com os dados de altura, diâmetro e distância entre os indivíduos, foram calculados parâmetros de área basal ( $m^2/ha$ ) e densidade absoluta, que foram determinadas para o bosque e por espécie. Densidade relativa, dominância relativa, frequência relativa e valor de importância foram estimados para cada espécie.

## 5.9 Ocorrência das espécies de mangue na RDSEPT

Em todas as áreas estudadas ocorreram três espécies típicas de mangue: *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), *Avicennia germinans* L. (Avicenniaceae) e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (Combretaceae) (Foto 5.10), (Figura 5.18). *A. germinans* é a espécie de mangue mais abundante em toda a RDSEPT, ocupando uma área aproximadamente de 324,70 hectares, representando, 61,2% de todo o manguezal; *R. mangle* a segunda mais abundante, ocupando uma área de 205,48 hectares, representando, 38,8%; *L. racemosa* foi a espécie menos frequente, pois tal espécie só ocorre sob a forma de indivíduos esporádicos nas bordas do manguezal, sem formar agrupamentos significativos que possam apresentar resposta espectral para os sensores utilizados nesta pesquisa. Devido a isso não foi possível calcular a área ocupada por tal espécie, mais, certamente esta representaria bem menos que 1% da área total.



**Foto 5.10:** Detalhe da superfície caulinar de; **A** *Avicennia germinans* L., **B** *Rhizophora mangle* L. e **C** *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. O caule é o elemento de ligação entre as raízes e as folhas. Foto: Bruno Costa. (2008).



Com o objetivo de comprovar a qualidade da composição das imagens do LANDSAT 5-TM 2009 em R (5) G (4) B (2) I (RADARSAT-1) para a determinação de espécies de mangue, esta foi submetida a uma classificação não supervisionada (Figura 5.19), que é um dos métodos utilizados para transformar os dados de imagem multiespectrais em classes de informações temáticas conhecidas. Este procedimento geralmente assume que as imagens em uma determinada área geográfica são abrangidas por várias faixas do espectro eletromagnético, tais como imagens de satélite multiespectrais.

A classificação supervisionada é um dos dois métodos utilizados para transformar dados de imagem multiespectral em classes de informações temáticas. Este procedimento pressupõe que a imagem de uma área geográfica específica, é registrado em várias faixas do espectro eletromagnético.

Na classificação supervisionada, a identidade e a localização de classes ou tipos de cobertura (urbano, água, vegetação, solos, etc.) são previamente conhecidas através de análises de campo, de fotografias aéreas, ou outros meios. Parâmetros estatísticos multivariados, tais como média, desvio padrão e matrizes de correlação são calculados para cada região de instrução, e cada pixel é avaliado e atribuído à classe com a qual é mais provável que seja uma parte de acordo com o método de classificação escolhido. Podemos observar perfeitamente na (Figura 5.19) (indicadores [1] e [2]) que existem dois principais grupos de cores, verde (*Rhizophora mangle* L.) e azul (*Avicenia germinans* L.). Por se tratar de uma classificação supervisionada achou-se por bem, retirar áreas ocupadas por água ou alagáveis, como, oceano, canais, rios, lagoas, viveiros, salinas e bancos lamosos, pois as respostas espectrais destes ambientes poderiam se misturar com as regiões de interesse. Esta classificação tornou possível também o cálculo para a área ocupada por cada espécie.

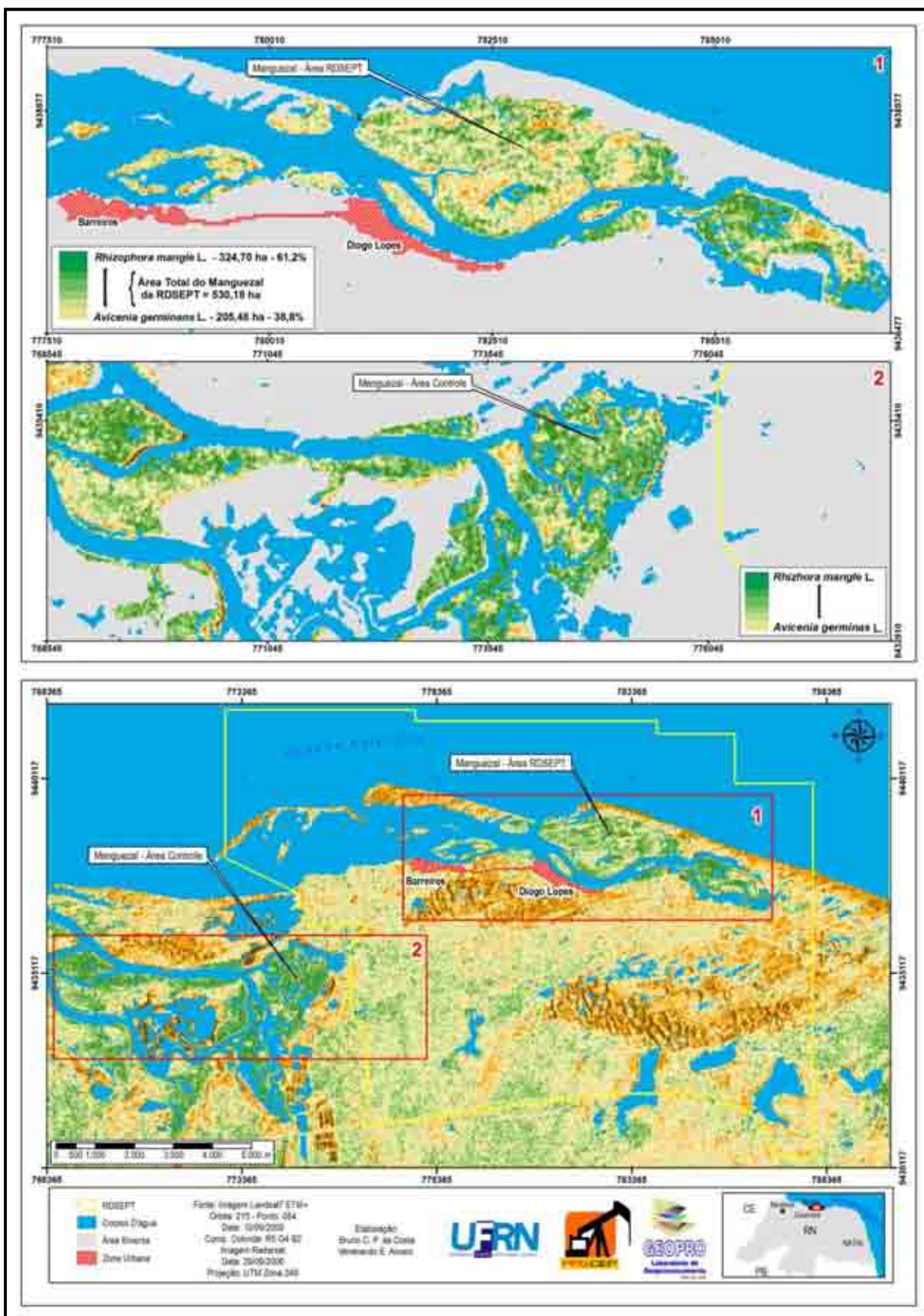


Figura 5.19: Mapa de análise taxonômica do manguezal da área de trabalho através de classificação supervisionada, [1]: manguezal da RDSEPT, [2]: manguezal da área de controle.

Como a classificação não supervisionada visa agrupar as propriedades espectrais dos pixels, e atribuir a cada pixel a uma classe com base nos parâmetros de grupos iniciais que foram definidos. Após a classificação concluída, foi atribuída a cada classe de dados espectrais uma cor para a implantação da classe. Na (figura 5.20) (indicadores [1] e [2]) observa-se que os pixels que se apresentam nos tons de verde referem-se à espécie *Rizhofora mangle* L. e os em tons de amarelo trata-se da espécie *Avicenia germinans* L.. Apesar de tratar-se de classificação não supervisionada, esta também se mostrou muito válida quando se trata de avaliação taxonômica de espécies de mangue, e, mais uma vez revela a qualidade da composição das imagens do LANDSAT 5-TM 2009 em R (5) G (4) B (2) I (RADARSAT-1) para esse propósito, por ter sido utilizada como base para as duas formas de classificação. As diversas vantagens em fazer uso de várias técnicas de PDI quando se trata de análise de vegetação está melhor representada na (figura 5.21).

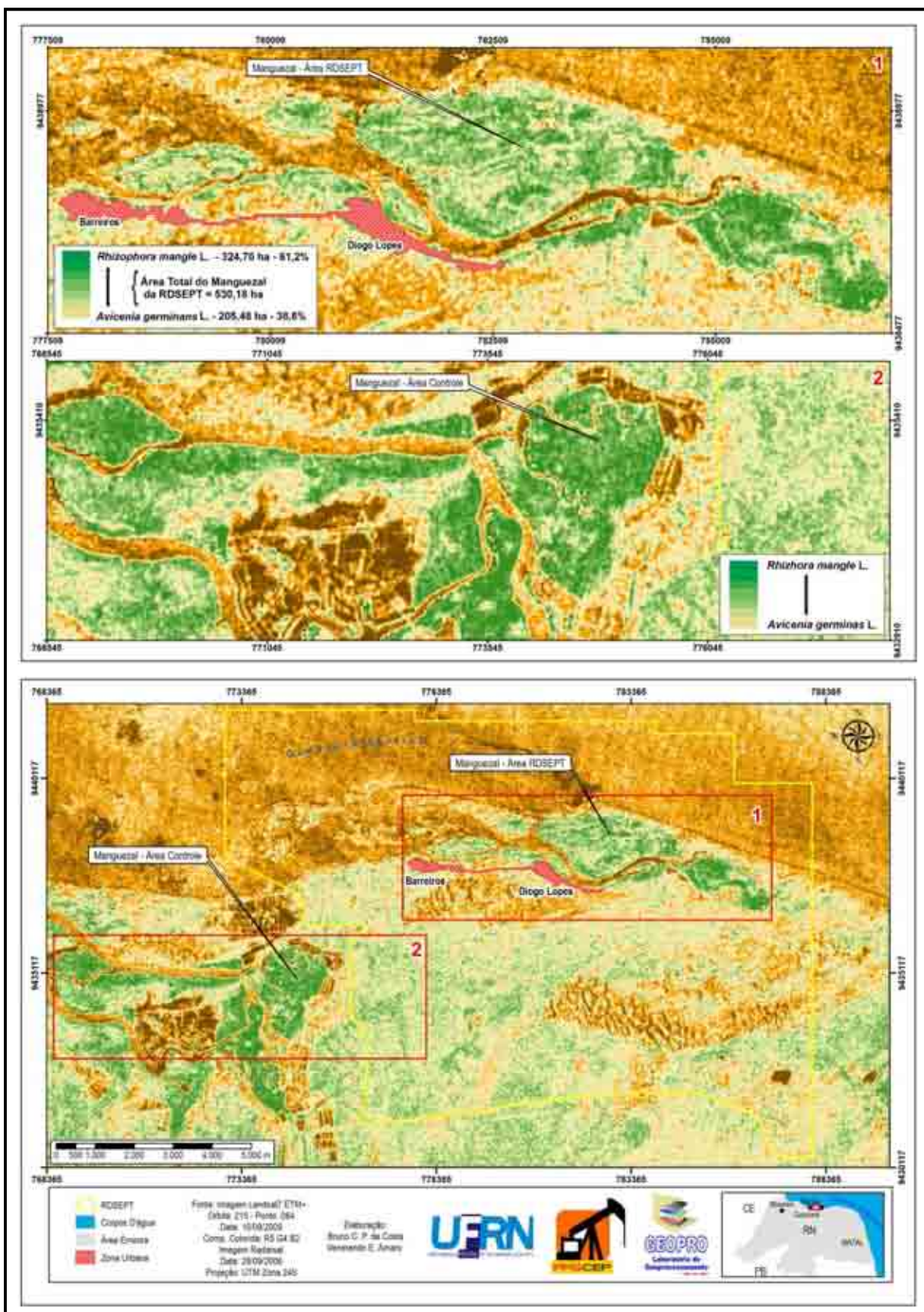


Figura 5.20: Mapa de análise taxonômica do manguezal da área de trabalho através de classificação não supervisionada, [1]: manguezal da RDSEPT, [2]: manguezal da área de controle.

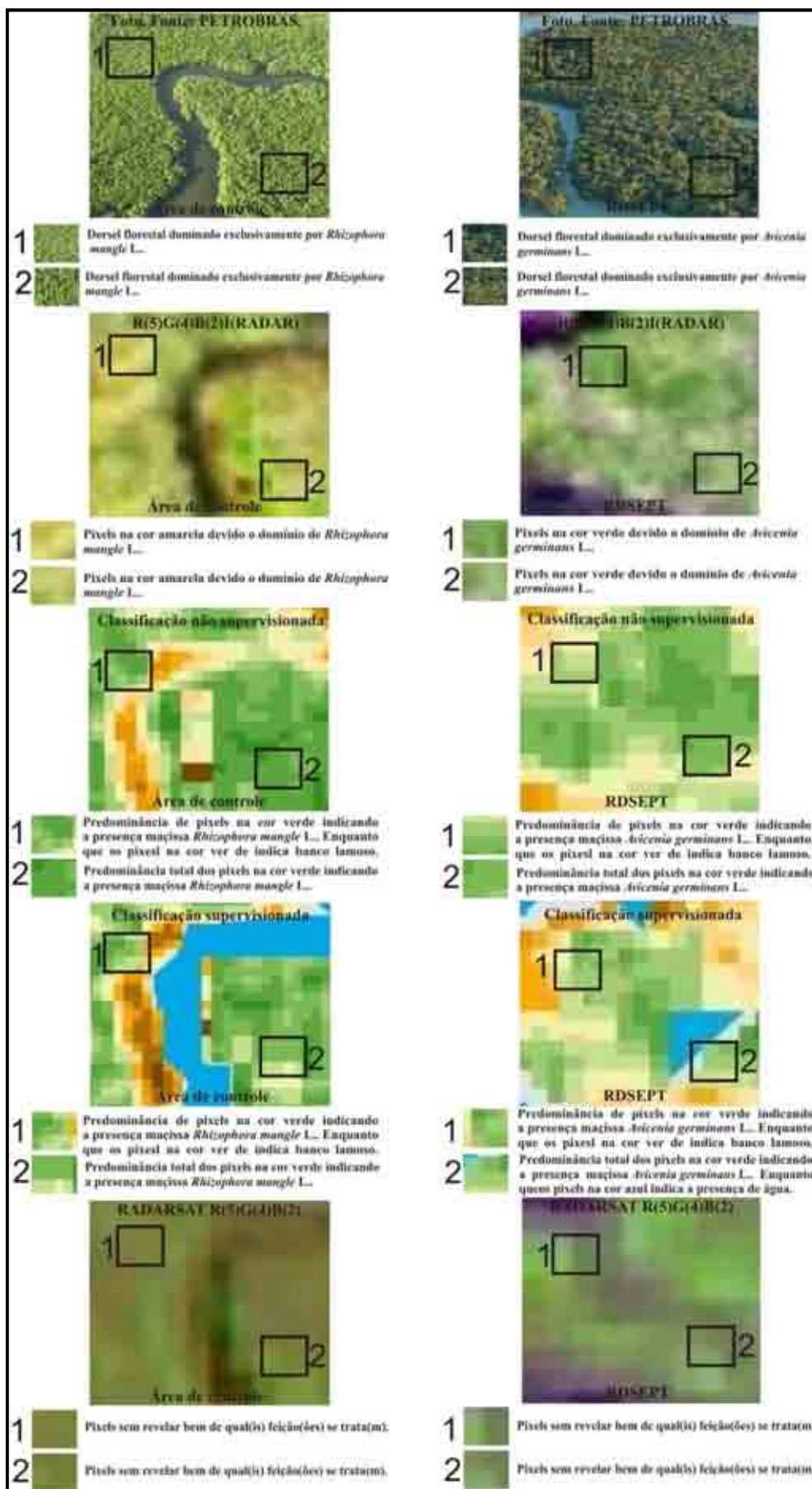


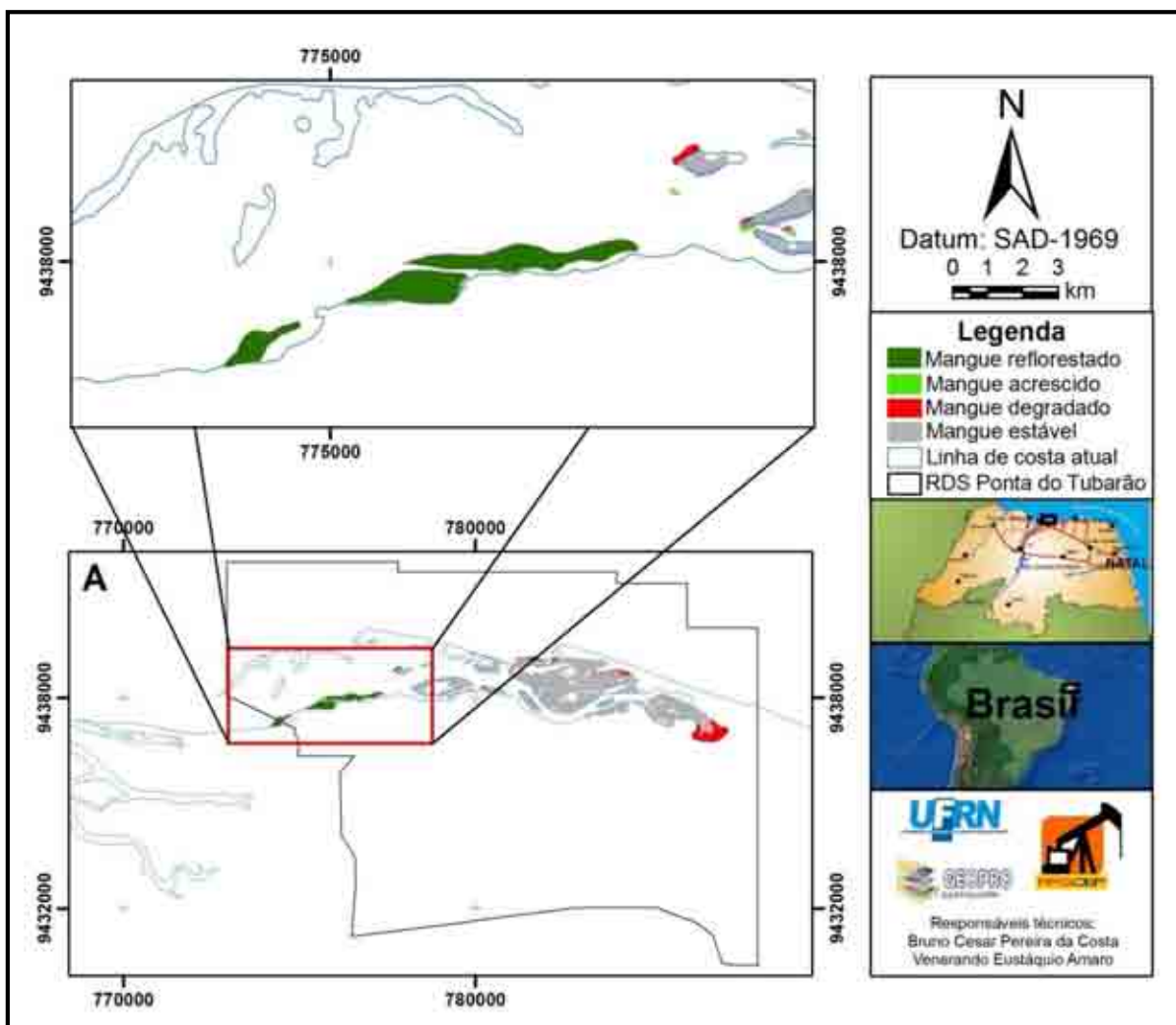
Figura 5.21: Mostrando a comparação da resposta espectral/resolução para LANDSAT R(5)G(4)B(2), LANDSAT R(5)G(4)B(2)I(RADARSAT), classificação supervisionada e não supervisionada para RDSEPT e área de controle.

## 5.10 A importância do reflorestamento de manguezais

Em diversas partes do mundo, de uma forma cada vez mais presente, paralelamente ao processo de degradação, vêm sendo desenvolvidas formas de restaurar os ambientes impactados e até mesmo propiciar as condições necessárias para a criação de novas áreas. Mais do que uma recente linha de pesquisa e de atuação dos profissionais ligados com a área ambiental, as atividades de restauração/criação de manguezais apresentam em sua proposta a crescente preocupação e conscientização da sociedade quanto à importância destes ecossistemas não só como provedores e mantenedores da biodiversidade, bem como diretamente relacionados com a sustentação de inúmeras e importantes atividades econômicas humanas, que variam desde a pesca artesanal a atividades turísticas, industriais, à qualidade de vida das populações litorâneas residentes no entorno desses ecossistemas, podendo constituir-se, também, em grandes depósitos para o seqüestro de carbono da atmosfera, contribuindo para mitigar o efeito estufa no planeta.

Mediante a real necessidade de intervenções antrópicas no intuito de minimizar esta situação, diversas pesquisas foram e vem sendo desenvolvidas no intuito de desenvolver tecnologias sustentáveis que visem minimizar tais prejuízos ambientais para área em questão.

Dentre pesquisas relacionadas com esta proposta, podemos enfatizar o trabalho realizado por Nascimento (2009), intitulado “**A Erosão Costeira e Sua Influência Sobre a Atividade Petrolífera: Alternativas Sustentáveis na Mitigação de Impactos Ambientais**” que sugeriu áreas para plantio de espécies vegetais em área costeira susceptível a processos erosivos na área dos Campos de Serra e Macau. As áreas apontadas por Nascimento (2009) foram posteriormente analisadas e caracterizadas ambientalmente por Dantas (2009) no trabalho intitulado “**Caracterização Ambiental de Bancos Areno-Lamosos nos Campos Petrolíferos de Macau e Serra (RN), Como Subsídio às Medidas Mitigadoras ao Processo Erosivo**” no qual o autor, através de análise físico-química de bancos areno-lamosos na região em questão, comprova a capacidade que tais bancos têm para receber perfeitamente o plantio de espécies vegetais, possibilitando a restauração da linha de costa, estabilização de faixas lamosas e areno-lamosas, minimizando a influência dos canais que ocorrem paralelos à faixa costeira responsáveis pela erosão local (Figura 5.22). Outro fator positivo a favor desta pesquisa baseia-se também no fato de que esta área já ter sido local de florestas de mangue em tempos passados (Fotos 5.11 e 5.12). Caso o projeto seja posto em prática geraria resultados próximos aos mostrados nas (figuras 5.23 e 5.24).



**Figura 5.22:** Mapa indicando em cor verde escuro as áreas susceptíveis ao plantio de espécies vegetais, indicadas por (Nascimento, 2009) e (Dantas, 2009).



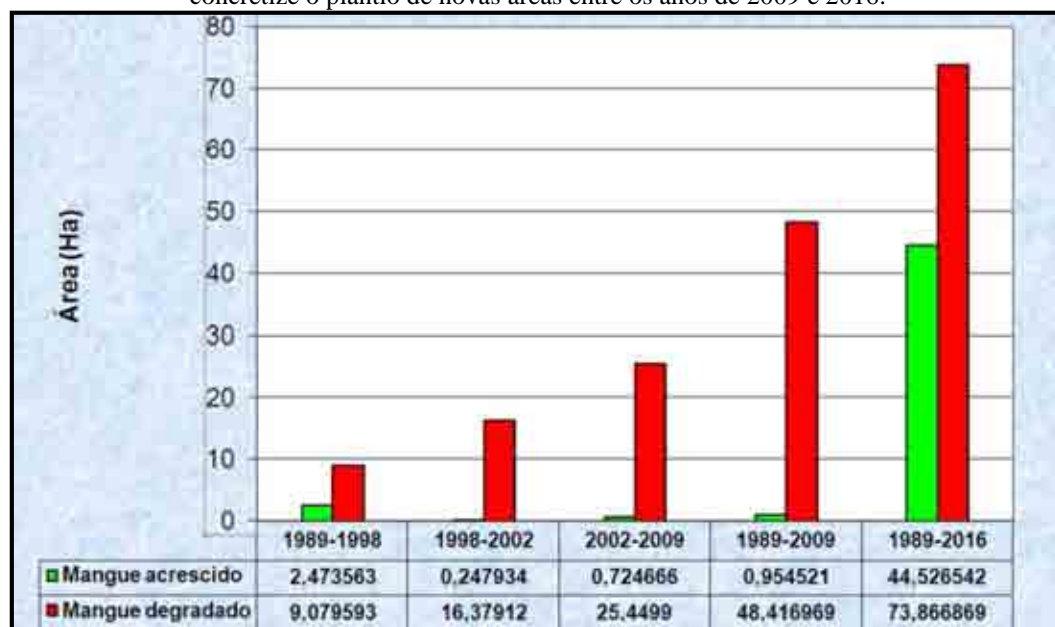
**Foto 5.11:** Banco areno-lamoso com a presença de paleomanguezal exposto. Foto: PETROBRAS 2006.



**Foto 5.12:** Caule de paleomangue exposto. Foto: PETROBRAS 2006.



**Figura 5.23:** Gráfico mostrando a comparação entre a quantidade de mangue a ser acrescido e o mangue caso se concretize o plantio de novas áreas entre os anos de 2009 e 2016.



**Figura 5.24:** Gráfico mostrando a comparação entre o mangue naturalmente acrescido e degradado entre os anos de 1989 e 2009. Revela também a comparação entre o mangue naturalmente acrescido e degradado, caso se concretize o plantio de novas áreas entre os anos de 2009 e 2016.

Green (2006) afirma que as tecnologias de plantio de espécies aquáticas e terrestre vêm sendo amplamente desenvolvida em diversas áreas e para diversos fins bem como em áreas com condições geomorfológicas similares a que ocorre na área em questão. Como exemplo disto, podemos citar as experiências em áreas do Golfo do México no Estado da Louisiana (EUA) aonde projetos vêm sendo desenvolvidos em amplas áreas similares.

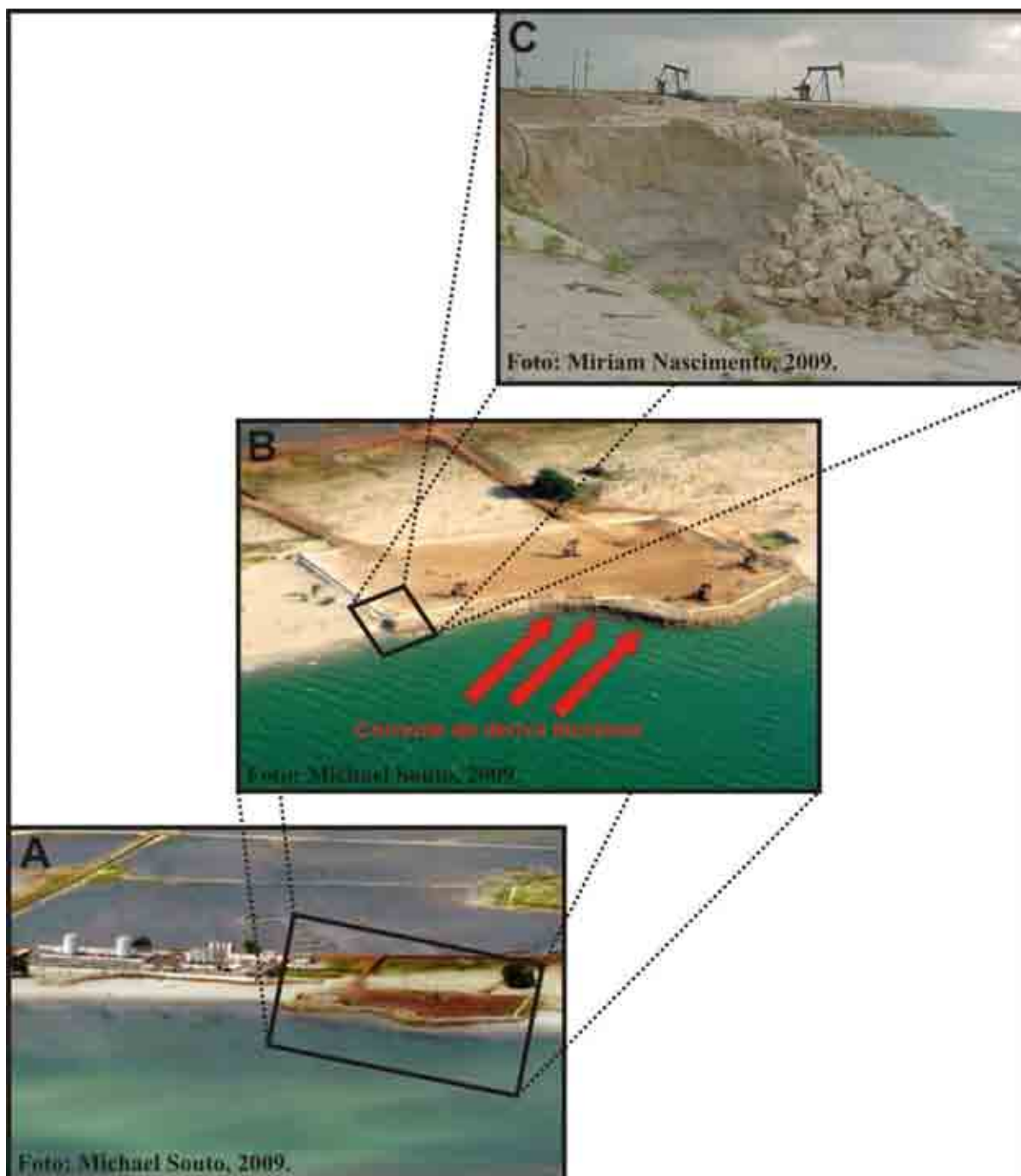
Para a proposição desta metodologia, observou-se que a evolução natural da deposição também natural dos bancos lamosos, que depois de estabilizados criam-se condições físico-químicas e biológicas para a instalação de floresta de manguezais.

Com isso, a metodologia consiste na aceleração da restauração da área costeira do campo petrolífero de Serra e Macau, através do plantio de mudas típicas de ecossistema de manguezal, o que possibilitará o surgimento de novas áreas lamosas de direção leste oeste (em direção ao campo de Serra) possibilitando assim a estabilização da faixa costeira em frente ao mesmo.

Segundo Lewis (2000), existem 5 (cinco) fases necessárias para se atingir o sucesso na restauração de habitats de manguezais:

1. Entender a autoecologia (ecologia das espécies vegetais) das espécies de mangue no local: em particular padrões de reprodução, distribuição de propágulos e sucesso na estabilização das mudas (plantas induzidas na área);
2. Entender os padrões hidrológicos normais que controlam a distribuição e o sucesso na fixação e crescimento das espécies de mangues escolhidas;
3. Avaliar modificações no ambiente original que atualmente previne o sucesso secundário natural;
4. Criar um programa de recuperação para restaurar a hidrologia apropriada e se possível utilizar o recrutamento de propágulos naturais para fixação das plantas;
5. Utilizar somente o plantio de propágulos, mudas coletadas ou mudas cultivadas após determinar (através das fases 1 e 2) se o recrutamento natural não proverá a quantidade de muda com sucesso de estabelecimento, taxa de estabilização, ou taxa de crescimento das amostras estabelecidas como o objetivo do projeto.

Espera-se, com a aplicação e o sucesso desta metodologia, minimizar os efeitos da erosão costeira nos campos de Serra e Macau (Figura 5.25) (indicativo [B]). Mesmo ocorrendo à migração leste oeste da Ilha-Barreira Ponta do Tubarão, busca-se, com o plantio do mangue, a estabilização do canal localizado a sudoeste da Ilha-Barreira Ponta do Tubarão reduzindo a competência do canal que se fortalece paralelo à linha de costa, responsável pela intensa erosão costeira atualmente desenvolvida na área (Figura 5.25) (indicativo [C]). Da mesma forma, conta-se em contribuir com o suporte biofísico aos ecossistemas costeiros.



**Figura 5.25:** Competência erosiva do canal paralelo à linha de costa, foto: **A** campo de produção Macau e estação coletora; foto **B**: sentido e direção do canal; foto **C**: intensa erosão no sedimento da linha de costa. Fonte: Adaptado de Souto (2006).

O projeto *EUROSION*, executado pela União Européia em toda a costa do continente europeu, vem fornecendo evidências quantitativas sobre a erosão costeira e que esta constitui um problema de magnitude crescente, na qual as autoridades públicas nem sempre têm sido capazes de dar respostas adequadas. Os resultados do projeto indicam que todos os estados costeiros europeus são possuidores de alguma forma com erosão costeira, e que cerca de 20% de todo o continente enfrentava impactos significativos no ano de 2004.

Na costa europeia, a erosão é causada principalmente pela combinação de fatores naturais e antrópicos e sua análise espaço-temporal opera em diferentes escalas. Os mais importantes fatores naturais são: o vento, as correntes junto à costa, a subida relativa do nível do mar e o deslizamento de taludes. Entre os fatores antrópicos capazes de gerar erosão encontram-se: as intervenções de engenharia costeira, os aterros, construção de barragens nas bacias hidrográficas, as dragagens, a limpeza de vegetação e a extração de água e gás, fatores naturais e atividades humanas muito parecidas com a realidade encontrada na área de estudo (Foto 5.13). Este estudo mostra que os principais impactos (ou riscos) causados pela erosão são semelhantes aos que ocorre também no local pesquisado com, por exemplo, a perda de terrenos com valor econômico, social ou ecológico e a destruição de sistemas de defesa costeira naturais.

Com o intuito de minimizar os efeitos provocados pela erosão costeira, diversas técnicas vêm sendo adotadas pelo projeto. Essas estruturas de defesa praticadas no continente europeu são desenvolvidas a partir da combinação de três técnicas e abordagens.

- A engenharia costeira tipo *hard*: Trata-se de estruturas permanentes construídas com blocos de enrocamento com a função de fixar a linha de costa e proteger zonas específicas. Estas técnicas representam cerca de 70% das intervenções de defesa da linha de praia realizadas na Europa. Esse tipo de engenharia também é largamente utilizada na área de pesquisa (Fotos 5.14 e 5.15). As intervenções *hard* quando realizadas têm apenas efeitos positivos a curto-médio prazo, na área de influência da obra de defesa, e gera impactos significativos nas regiões adjacentes.
- A engenharia costeira tipo *soft*: Trata-se de técnicas utilizando fundamentalmente componentes naturais tais como a areia e a vegetação terrestre e aquática, a partir de alimentação artificial e/ou de uso espécies reintroduzidas, com o objetivo de restabelecer as defesas naturais de proteção contra a erosão em dunas e praias. As intervenções *soft*, como a alimentação artificial de praias e dunas, têm gerado nos últimos anos uma grande esperança por se demonstrar uma medida de segurança eficaz e permitir uma relação custo-eficácia bem elevada.

**Foto 5.13:** Tubulação da PETROBRAS exposta devido ao processo migratório sedimentar provocado pela ação eólica causando grandes riscos de derramamento. Foto: Bruno Costa. (2010).



**Foto 5.14:** Intervenção tipo *Hard* para tentar evitar a erosão sedimentar da costa e preservar a estrada de acesso ao campo Serra de produção de petróleo e gás, como também de energia eólica. Foto: Bruno Costa. (2010).

**Foto 5.15:** Intervenção tipo *Hard* para tentar evitar a erosão sedimentar da costa e preservar o campo Macau de produção de petróleo e gás. Foto: Bruno Costa. (2010).



### 5.11 O reflorestamento de manguezais e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Apesar da proteção integral pelos dispositivos legais vigentes, manguezais, vêm sofrendo um intenso e constante processo de degradação tanto por parte antrópica tanto pela mudança do clima mundial, que muitas vezes compromete os importantes serviços ambientais e econômicos prestado por esse ecossistema, por conseqüência, estudos relacionados a sua

valoração vem aumentando, pois até algumas décadas passadas, sustentou-se a idéia apenas da sua sub-utilização e a destruição deste ecossistema.

Efetuar trabalhos de restauração e criação de manguezais é outra questão que necessita tornar-se clara em estudos de valoração dos bens e serviços desses ecossistemas, como alternativa à reversão das áreas degradadas, ao seqüestro do carbono atmosférico e a fixação do perfil geomorfológico costeiro. A inexistência de uma instituição supranacional e a inópia das medidas voltadas à eficiência econômica, face as grandes disparidades no atual padrão de distribuição da renda nos países de ambos os hemisférios, são entraves para um acordo sobre a emissão dos Gases de Efeito Estufa (*Greenhouse Gases* - GHG), realçando a importância das pesquisas sobre a recomposição de manguezais como alternativa ao seqüestro do carbono atmosférico (Fonseca, 2002). Diversas atividades econômicas diretamente dependentes dos manguezais inclusive a indústria petrolífera, justificam a relevância de extensão da valoração econômica – ecológica aos trabalhos para recomposição desses ambientes degradados.

Apesar da dificuldade em estimar o valor cultural destas florestas para aqueles que lá vivem, os manguezais fazem parte da paisagem e da vida das populações de seu entorno na grande maioria de baixo poder aquisitivo que muitas vezes vivem em situação precária pouco desfrutando de seu potencial, contrastando com a riqueza do ambiente, subvalorizado por ausência de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável, gerenciamento daquelas áreas costeiras, enfim, da valoração dos ecossistemas manguezais, como também transformá-lo em Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

## 5.12 Indicação de espécies para o plantio

O experimento de reflorestamento deverá ser conduzido com a introdução de espécies vegetais, sendo duas de ambientes transicionais (Takayuki, 2006), como exemplo, nas áreas areno-lamosas a *Rhizophora mangle* L. (mangue vermelho ou sapateiro) (Foto 4.3), nas áreas areno-argilosas a espécie *Avicennia germinans* L. (mangue preto ou canoé) (Foto 4.9). Na área de sedimentos arenosos de dunas, sugere-se incrementar o plantio de espécies adaptadas a este ambiente, que serviram como vegetação primária estabilizadora. Para este propósito, deve-se fazer uso de espécies locais que já executam este papel como salsa-da-praia *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown. (Convolvulaceae) (Fotos 5.17 e 5.18) e *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb. (Convolvulaceae) (Fotos 5.19 e 5.20), (espécies rasteira) que através de suas raízes e ramos paralelos ao solo servem para fixar o solo enquanto que o flor-de-seda *Calotropis*

*procera* R. Br. (Asclepiadaceae, espécie arbustiva) (Fotos 5.21 e 7.22) devido ao seu porte, serve de barreira natural contra a ação do vento.

As dunas costeiras apresentam um importante sistema de proteção à linha de costa contra a erosão e a inundação causada por eventos de ressaca e por elevações no nível médio do mar (Nordstrom *et al.*, 1990). Conforme Cordazzo (1990), entre as espécies típicas que ocorrem nas dunas costeiras do litoral Northeriograndense, destacam-se as espécies *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb., *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown. e *Calotropis procera* R. Br que apresentam ampla produção de sementes e germinação, o que viabiliza a produção de mudas a partir de sementes para utilização em recuperação de dunas degradadas e ou estabilização das mesmas.



**Foto 5.17:** Detalhe de indivíduo adulto *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 5.18:** Detalhe da flor de *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown.. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 5.19:** Detalhe de indivíduo adulto *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb. Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 5.20:** Detalhe da flor de *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb..Foto: Bruno Costa. (2008).



**Foto 5.21:** Detalhe de indivíduo adulto de *Calotropis procera* R. Br.. Foto: Bruno Costa. 2008.



**Foto 5.22:** Detalhe da inflorescência de *Calotropis procera* R. Br.. Foto: Bruno Costa. 2008.

### 5.13 Estimativa do carbono fixado no manguezal da RDSEPT

West *et al.* (2002), afirmam que com o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico, existe um interesse cada vez maior na mitigação de seus potenciais impactos sobre o clima. Embora a ênfase seja na diminuição das emissões, cada vez mais se reconhece que as taxas de emissão podem ser mitigadas pela transferência de CO<sub>2</sub> da atmosfera para a biosfera, principalmente em ambientes florestais como, por exemplo, os manguezais.

Downing *et al.* (1992), sugerem que os ecossistemas costeiros, em especial os manguezais, teriam capacidade de armazenar quantidades significativas de carbono na vegetação propriamente dita como também em sedimentos. Twilley *et al.* (1992), estimam que o estoque global de carbono na biomassa de manguezais seria de 4.03 x 10<sup>15</sup>g C e que 70 % desse carbono estaria em regiões entre 0° e 10° de latitude, encontra-se dentro desta latitude a área de pesquisa. Tais autores relatam ainda que estas taxas de produtividade primária e acúmulo de carbono na biomassa são dependentes de uma combinação de fatores tanto globais (como a latitude) quanto locais (como o regime hidrológico).

Existe uma grande variabilidade na biomassa dos manguezais e conforme Soares (1997) isto ocorreria em função de diversos fatores como: idade e história da floresta e diferenças estruturais, além de fatores ambientais incluindo a intervenção humana. O autor afirma também que em termos estruturais, esta heterogeneidade vai depender diretamente da composição das espécies habitantes, a estrutura da comunidade e sua forma de crescimento, pois estas características vão se refletir basicamente na altura das árvores e na densidade das mesmas. Portanto, estudos de monitoramento da biomassa de manguezais são indispensáveis para compreensão do impacto das mudanças globais sobre os manguezais e o papel dos mesmos no seqüestro de carbono bem como a geração de recursos.

Baseados em recente estudo de (Cogliatti-Carvalho e Fonseca, 2003), em projeto de pesquisa em uma área total do entorno do sistema lagunar Itaipu – Piratininga foi estimado um total de 152,19 ton/ha de biomassa (peso seco), armazenando 76,09 ton/ha de carbono. Os valores de densidade, biomassa e carbono armazenado nas três espécies estudadas estão representados na (tabela 5.2).

**Tabela 5.2:** Tabela de valores de densidade, biomassa e carbono armazenado em *Avicennia shaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* L. no manguezal de Itaipú, Niterói, RJ.

<b>Espécie</b>	<b>Densidade (ind/ha)</b>	<b>Biomassa (ton/ha) (peso seco)</b>	<b>Carbono (ton/ha)</b>
<i>Avicennia shaueriana</i>	2.971	119,58	59,79
<i>Laguncularia racemosa</i>	3.271	31,43	15,72
<i>Rhizophora mangle</i> L.	57	1,18	0,59
<b>TOTAL</b>		152,19	76,09

As variações sazonais do fluxo de CO<sub>2</sub> indicam que o manguezal, durante o dia, funciona como sumidouro de carbono e durante a noite como fonte, em termos médios diários a taxa de assimilação é sempre maior que a taxa de emissão o que caracteriza que esse ecossistema atua como importante regulador de fluxos energéticos contribuindo para atenuação do efeito estufa e reforça a teoria de que o manguezal é um seqüestrador de CO<sub>2</sub>.

O presente estudo cobriu uma área pequena e um número amostral baixo quando comparado a todo o manguezal. Porém, as parcelas monitoradas mostram que existem áreas onde a contribuição é maior e áreas onde a contribuição é significativamente menor. Além disso, temos que algumas espécies atuam como fonte, a outra atua como reservatório de CO<sub>2</sub>. Além disso, as espécies possuem funções diferentes em regiões diferentes, o que mostra o papel diferenciado das diferentes regiões do manguezal no balanço total da floresta de mangue.

Para a estimativa de biomassa de indivíduos de *A. germinans* e *R. mangle*, foram aplicados modelos descritos por (Soares, 1997) e (Soares e Schaeffer-Novelli, 2005). A quantidade de carbono armazenado nas árvores foi calculada através da biomassa aplicando-se fator de conversão de 0,45 gC/g biomassa, descrito por (Twilley *et al.* 1992). Por fim, o montante de carbono imobilizado na matéria orgânica nos períodos de avaliação do estudo foi convertido em CO<sub>2</sub> sequestrado, através da equação:

$$CO_2 = \frac{44 \times (\text{Carbono Aprisionado})}{12}$$

Cabe ressaltar que um estudo mais preciso deve incluir *Laguncularia racemosa*, presente no manguezal e ausente neste estudo pela não ocorrência de nenhum indivíduo desta espécie nas parcelas inventariadas.

A comparação do valor total de carbono encontrado neste trabalho com o valor proposto por Cogliatti-Carvalho e Fonseca (2003), apesar de não ser aqui considerada a biomassa de *Laguncularia racemosa*, mostra que as estimativas feitas encontram-se na mesma ordem de grandeza, sendo, portanto compatíveis (Tabela 5.3). Por fim, os resultados apontam para a necessidade de aprofundamento das estimativas de seqüestro de carbono por florestas de mangue na área de trabalho e próxima.

**Tabela 5.3:** Tabela de valores de densidade, biomassa e carbono armazenado em *Avicennia germinans* L., e *Rhizophora mangle* L. no manguezal da RDSEPT.

<b>Espécie</b>	<b>Densidade (ind/ha)</b>	<b>Biomassa (ton/há/mês) (peso seco)</b>	<b>Carbono (ton/há/mês)</b>
<i>Avicennia germinans</i> L.	353	7,31	3,65
<i>Rhizophora mangle</i> L.	482	9,10	4,45
<b>TOTAL</b>	835	16,41	8,1

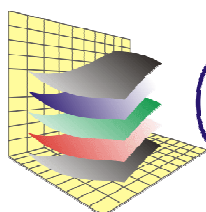


---

# CAPÍTULO VI

*Conclusões e Recomendações*

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

## 6.1 Conclusões

- Os resultados obtidos apontaram a relevância do emprego de técnicas de PDI e de Geoprocessamento aplicado às imagens de sensores passivos, tais como o LANDSAT 5-TM e LANDSAT 7-ETM, e sensores ativos como RADARSAT-1, além das técnicas de coleta georreferenciada e a integração de dados georreferenciados em SIG, como uma valiosa maneira de extrair informações destinadas às aplicações em pesquisas geoambientais; além do que, quando associadas aos dados de amostragem *in loco*, permitiram a avaliação da situação/eficiência/potencialidade dos manguezais da RDSEPT como banco de matrizes e sementes para ao reflorestamento com espécies de mangues locais, como prerrogativa na mitigação do efeito erosivo dos processos costeiros sobre as áreas praias nos campos de exploração de petróleo de Serra e Macau;
- Os produtos resultantes por técnicas de processamento digital de imagens (RGB, PC, NDVI, fusão de bandas e fusão de imagens) apresentaram desempenhos significativos no que diz respeito à detecção e discriminação das feições de interesse, proporcionando cores contrastantes e limites entre padrões espectrais bem definidos.
- A análise multitemporal da linha de costa de 1989 a 2009 mostrou que o avanço da linha de costa afetou diretamente o manguezal, provocando uma destruição natural de grandes áreas de mangues, estes por sua vez serviram como barreira natural, evitando assim um maior avanço do oceano em direção ao continente.
- A análise multitemporal das dunas móveis de 1989 a 2009 revelou um intenso processo migratório no sentido nordeste sudoeste dos campos de dunas móveis em direção do manguezal, o que também foi causador da morte natural de uma grande área do mesmo.
- Através da análise multitemporal das florestas de mangue de 1989 a 2009 e da estratégia metodológica adotada, descobriu-se que, em 28/09/1989, existiam ao menos 570,73 hectares de manguezais vivos o que representava 4,4% da área total da RDSEPT e que, em 11/06/2009, havia apenas uma área 530,18 hectares de manguezais vivo e uma área de 40,55 hectares de manguezais mortos, ocorrendo uma redução de 7,1% nas florestas de mangue sadias. Apenas uma área de 0,96 hectares da área total do manguezal teve uma natalidade natural, representando apenas 0,2% da área total do manguezal.
- A partir das análises multitemporais realizadas sobre a dinâmica da linha de costa, migração dos campos de dunas móveis e do manguezal da RDSEPT, chegou-se a uma conclusão preocupante em relação à situação geral do manguezal da RDSEPT, pois, se fatores ambientais como as mudanças climáticas e os efeitos provocados por *El Niño* e *La Niña* continuarem a atuar e nenhuma medida for tomada espera-se em 2016 no mínimo

que já se tenha dobrado as áreas de manguezais mortos ou em situação de risco iminente de morte, algo em torno de 14,2% da área atual.

- Por meio da interpretação visual dos produtos foi possível destacar a composição colorida R(5)G(4)B(2)I(RADAR) do LANDSAT 5-TM (11/06/2009), e RADARSAT-1 inédita na literatura, como aquela que melhor realçou as diferenças entre os diferentes grupos vegetacionais existentes no interior do manguezal, o que facilitou bastante o mapeamento temático dessas áreas;
- Algumas áreas do manguezal analisado nesta pesquisa encontram-se em condições bem preocupantes tanto pelos efeitos das mudanças climáticas naturais, da dinâmica local, como também em relação aos danos causados por parte antrópica como, por exemplo, a implantação de viveiros para a produção de camarão em antigas áreas de manguezal.
- Por tratar-se de uma onde ocorre uma grande dinâmica local, além de uma rica biodiversidade e elevada sensibilidade ambiental, estas áreas de manguezais são ecossistemas importantes; deste modo, considera-se que o presente estudo vem somar-se aos estudos para o reconhecimento dos tipos de manguezais do Rio Grande do Norte e contribuir à caracterização botânica adequada com vistas à restauração e preservação desse ecossistema.
- Foi possível estimar a fixação de carbono das florestas de mangue na RDSEPT. O valor médio para fixação de carbono (produtividade primária líquida) é 8,1 TonCO<sub>2</sub> atmosférico / ha / ano (Tabela 5.3). Neste caso, a quantidade de carbono seqüestrado é considerada baixa quando comparada com outras áreas estudadas. A baixa produtividade líquida foi associada com a baixa natalidade e a idade da floresta. Mas esta quantidade se torna bem significativa quando analisamos para toda a área que, é capaz de seqüestrar 4.294.458 TonCO<sub>2</sub> atmosférico / ano.

## 6.2 Recomendações

- Segundo os trabalhos compilados por Nascimento (2009) e Dantas (2009) que indicam e justificam algumas áreas para o reflorestamento de manguezais na área de trabalho, caso se concretize tal plantio teria-se então uma expansão de 37,58 ha de manguezal na área de pesquisa, aumentando em 6,7% a cobertura vegetal da área em manguezal.
- Caso se concretize o projeto de reflorestamento mencionado, além de acrescentar 6,7% de vegetação da área de manguezal, servirá também como medida compensatória para áreas de degradação antrópica e em relação aos 8,5% de perda em áreas de manguezais

ocorridas anteriormente. Lembrando que, além disso, estas novas áreas de mangues servirão também para a aceleração da restauração da área costeira dos campos petrolífero de Serra e Macau e por sua vez, a estabilização da faixa costeira em frente ao mesmo, permitindo assim a produção de hidrocarbonetos com bem menos riscos ambientais.

- Recomenda-se para a área da Salina Melancia e o empreendimento de carcinicultura desativado, ambos deveriam ser submetidos ao conceito de Restauração Ecológica proposto por (Lewis III, 2001).
- Para a continuação deste estudo, sugere-se que a reconstituição das defesas naturais contra a erosão da área seja colaborada com a produção em viveiro de mudas de espécies típicas de manguezal local, de preferência *Rhizophora mangle* L. e *Avicenia germinans* L. devido à abundância dessas espécies na região e por serem as mais resistentes aos processos erosivos segundo a literatura (Nascimento, 2009). Essa metodologia em viveiro é, para muitos autores, a que se obtém maior êxito na restauração deste ecossistema. Isso porque nos permite um maior monitoramento dos fatores que controlam o desenvolvimento das espécies, o que leva a uma produção de mudas mais vigorosas e possibilita uma formação de estoques para serem utilizados conforme a necessidade ou de acordo com a melhor época de plantio (Lewis, 1982; Untawale, 1993; Saenger, 1997; Field, 1997).
- Estudos de sucesso foram compilados por Nascimento (2009) e revelam a importância do reflorestamento a partir da produção de mudas, como por exemplo, o projeto de *Sustentabilidade para a Costa da Louisiana: Restauração, Proteção e Planejamento da orla*, promovido através do governo americano em parceria junto à comunidade acadêmica do *United States Geological Survey* (USGS). Esse projeto mostra que reflorestar a partir de mudas é a maneira mais eficaz devido às diferenças existentes na elevação do nível do mar. Trata-se da opção mais viável e que mais é desenvolvida no projeto, sendo que a eficácia e o sucesso do mesmo podem depender da escolha da espécie mais adequada às condições geoambientais locais.
- Sugere-se que os propágulos para a produção de mudas em viveiro sejam coletados diretamente das árvores-mãe e mensurados (medição de diâmetros de base, centro e ápice, além de comprimento). Esses dados quando comparados com desenvolvimento das mudas (taxas de sobrevivência e de crescimento) poderão identificar se há algum parâmetro morfológico que condicione àqueles propágulos com características propiciadoras de melhor desenvolvimento das mesmas.
- A presença de um canal de maré artificial proveniente da salina Soledade poderá influenciar negativamente no desenvolvimento de espécies de manguezal, mesmo sendo

esse ecossistema adaptado a condições adversas de elevada salinidade. Sendo assim, como abordado por Nascimento (2009), essa questão poderia ser passível de ser resolvida com palestras e orientações aos proprietários dessa salina, que se encontra numa área de intenso processo erosivo, colocando em risco tanto a atividade salineira (riscos de inundação) quanto a atividade petrolífera (perda de acesso aos campos).

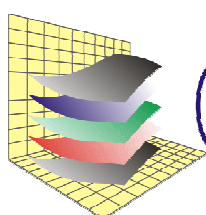
- É imprescindível também a continuação do monitoramento através do uso de imagens de sensoriamento remoto; pois como citado ao longo de todo o texto, com a existência de sensibilidade e vulnerabilidade que variam de média a alta na área, se torna necessário o monitoramento dessa superfície em escala de detalhe, de maneira que tenhamos um banco de imagens que possam contribuir com a observação da evolução dos bancos e da vegetação de manguezal existente, bem como a vegetação a ser implantada. Podem ser utilizadas também, na medida em que possa ser viável, o monitoramento a partir de fotografias aéreas, com o objetivo de acompanhar mudanças morfológicas detalhadas. Sendo necessário um reflorestamento que necessitará de um monitoramento desde a coleta de sementes, a produção de mudas, transplante ao local de plantio e crescimento da vegetação.
- O experimento de reflorestamento deverá ser conduzido com a introdução de espécies vegetais, sendo duas de ambientes transicionais (Takayuki, 2006), como exemplo, nas áreas areno-lamosas a *Rhizophora mangle* L. (mangue vermelho ou sapateiro, nas áreas areno-argilosas a espécie *Avicennia germinans* L. (mangue preto ou canoé). Na área de sedimentos arenosos de dunas, incrementar o plantio de espécies adaptadas a este ambiente, que serviram como vegetação primária estabilizadora para este propósito deve-se fazer uso de espécies locais que já executam este papel como salsa-da-praia *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Brown. (Convolvulaceae) e *Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb. (Convolvulaceae), (espécies rasteira) que através de suas raízes e ramos paralelos ao solo servem para fixar o solo enquanto que o flor-de-seda *Calotropis procera* R. Br. (Asclepiadaceae, espécie arbustiva), devido seu porte serve de barreira natural contra a ação do vento.
- Cabe ressaltar a real necessidade de um estudo mais preciso para o aprofundamento das estimativas de seqüestro de carbono pelas florestas de mangue da RDSEPT e próxima. Pois quando se busca gerar Créditos de Carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo se faz necessário cálculos e estimativas mais precisas.



---

# BIBLIOGRAFIA

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

**REFERÊNCIAS****A**

- ABER, J. D., MELILLO, J. M. (2001). *Terrestrial ecosystems*. San Diego: Academic Press.
- ALHEIROS, M.M. & LIMA FILHO M.F. 1991. A Formação Barreiras. Recife, UFPE, Vol. 10, p. 77-88. (Estudos Geológicos Série B).
- ALMEIDA, A.L. e ARAÚJO, D.S.D. de. *Comunidades vegetais do cordão arenoso externo da Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá - Saquarema, RJ*. Oecologia Brasiliensis. vol. III - Ecologia de praias arenosas do litoral brasileiro. p.47-63. 1997.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASSUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1977 – Provincias Estruturais Brasileiras. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 2, Campina Grande/PB, Anais, p. 363-391.
- ANGELIN, L.A.A.; NESI, J.R.; TORRES, H.H.F.; MEDEIROS, V.C.; SANTOS, C.A.; VEIGA JUNIOR, J.P.; MENDES, V.A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte-Escala 1:500.000. Recife: CPRM-Serviço Geológico do Brasil. 119p.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2008. Brasil Round 10 - Décima rodada de licitações. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.brasilrounds.gov.br>. Acesso em 26/08/2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). 2009. Banco de dados de exploração e produção (BDEP). Rio de Janeiro. Disponível em: <http://maps.bdep.gov.br>. Acesso em 21/03/2009.
- ALONGI, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangroves forests. *Environmental Conservation* 29: 331-349.
- ALVES, A. L. 2001. *Cartografia temporal e análise geoambiental da dinâmica da foz do rio Piranhas-Açu, Região de Macau-RN, com base em imagens Landsat 5-TM*. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 88 p.
- ALVES A.L., AMARO V.E., VITAL H. 2003. Application of Remote Sensing for Monitoring and Evaluation of Coastal Morphodynamic on the Northeastern Coast of Brazil: The Açu River Mouth Example. *Journal of Coastal Research*. Special Issue: *Brazilian Sandy beaches* n. 35.
- ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. 1994. Bacia Potiguar. In.: *Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro, 8(1): 127-141.
- ARAÚJO, A. B. 2006. Análise e Caracterização da Dinâmica da Foz do Rio Apodi, Região de Areia Branca/RN, Com Base na Cartografia Temática Multitemporal de Produtos de Sensoriamento Remoto. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 159p

**B**

BRANNER J.C. 1902. Geology of the northeast coast of Brazil. *Amer. Geol. Soc. Bull.*, 13:41- 98.

BRASIL – Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. 1981. *Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra*. Rio de Janeiro/RJ. 744 pp.

## C

CALDAS, L.H.O. 1996. Geologia Costeira da Região de São Bento do Norte e Caiçara, litoral norte Potiguar. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 82p.

CALDAS, L.H.O. 2002 - Late Quaternary Coastal Evolution of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. Tese de Doutorado Christian Albrechts – Universität zu Kiel.

CARMO FILHO, F.; SOBRINHO, J. E. & AMORIM, A. P. 1987. Dados Meteorológicos de Mossoró. Coleção Mossoroense, v. 341.

CHAVES M.S. & VITAL H. 2001. Caracterização Geoambiental dos Parâmetros de Onda entre o trecho Praial da Ponta do Tubarão e Gamboa do Corta-Cachorro, Macau/RN. In: ABEQUA, 8, Imbé/RS, *Anais*, p. 55.

CINTRÓN, G. & SCHAEFFER-NOVELLY, Y. 1992. Ecology and management of new world mangroves. In: p. 233-258, Seeliger, U. (ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press, New York.

COGLIATTI-CARVALHO & FONSECA, Quantificação da biomassa e do Carbono em *Rhizophora mangle*, *Avicennia shaueriana* e *Laguncularia racemosa* no manguezal da laguna de Itaipu, Niterói – RJ, Relatório ao Fundo Nacional do Meio Ambiente – FNMA/MMA, Niterói, 11 p., 2003.

CORDAZZO, C. V. 1990. The effects of temperature and light on germination in *Blutaparon portilacoides*, a pionner species in southern Brazilian coastal dunes. *Anais do IV Simposio de Ecosystemas Brasileiros*. V. 3; p. 92-96.

COSTA NETO, L. X. 1985. Geologia da área entre Macauzinho e Boa Vista (Sul de Macau-RN). Natal, UFRN/CCE/DG. 61p. (Boletim 9).

CUNHA, E.M.S. 2004 Evolución reciente del litoral de Natal (RN – Brasil) y su aplicación a la gestión integrada. Tese de Doutorado, Universidad de Barcelona, 384 p.

CURRAN, P.J. Principles of remote sensing. London: Logman Scientific, 1985. 260 p.

CURRAN, P. J. Principles of remote sensing. New York; [s.n.],1986. 282 p.

## D

DE BARROS PEREIRA, B.R. 2008. Integração de dados multisensores (ópticos e radar) para o mapeamento de unidades geoambientais e de uso e ocupação do solo na região de Macau e Porto do Mangue/RN. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 143p.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - (DHN). 1974. Carta náutica 700:

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - (DHN). 1993. Carta náutica 762:

DOWNING, J.P.; CATALDO, D.A. 1992. Natural sinks of CO<sub>2</sub>: technical synthesis from Palmas Del Mar Workshop. *Water, Air & Soil Pollution* 64 (1-2): 439-453.

DUGAN, P.J. (1992) - *Conservación de humedales: un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias*. IUCN, 100 p., Gland, Suíça

DUKE, N.C, BALL, M.C., ELLISON, J.C. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7: 27-47.

### E

ELLISON, J.C. & STODDART, D.R. 1991. Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: Holocene analogues and implications. *Journal of Coastal Research*, 7 (1): 151-165.

EMPARN, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, 2008. Meteorologia. Disponível em: <<http://www.emparn.rn.gov.br/links/meteorologia/meteorologia.asp>>. Acesso em: 18 de maio de 2008.

### F

FARIAS, P.R.C. 1987. Formação Pendência, Bacia Potiguar emersa: Correlação entre a diagênese dos arenitos reservatórios e dos folhelhos associados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto. 154 p.

FARIAS. P.R.C. 1997. Geologia de Superfície da Área de Detalhe de Macau-RN. Relatório Final. Petrobras/GEXP/GELAB, Relatório Interno, 76 p.

FAIRBRIDGE, R. (1980) The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (eds). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. John Wiley & Sons, Chichester, p.1-35.

FERNANDES, A. *Fitogeografia brasileira*. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340p.

FONSECA, Sérgio de Mattos: Reflorestamento de Ecossistemas Manguezais Como Contribuição Ao Seqüestro Do Carbono Atmosférico, projeto de tese para doutorado, Rio de Janeiro, mimeo, 2002.

FORTES, F.P. 1987. Mapa Geológico da Bacia Potiguar (escala 1:100.000), a origem da Bacia Mesozóica do Apodi como decorrência do ciclo tectono-orogênico brasileiro. Natal: PETROBRAS. DEBAR. DINTER, 116p. (Relatório interno).

### G

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento de imagens digitais. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 509p.

GREEN. M.M. 2006 - Coastal Restoration Annual Project Reviews: December 2006. Louisiana Department of Natural Resources, Baton Rouge, LA. 116 pp.

GRIGIO A.M. 2003. *Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da Indústria Petrolífera*. Dissertação de Mestrado, PPGG, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 222 p.

## H

HERZ, R. (1991). *Manguezais do Brasil*. 1st edn (São Paulo: Instituto Oceanográfico de São Paulo), 227p.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. *Introdução ao manejo e economia de florestas*. Editora da UFPR. Curitiba, 1998. 162p.

## I

IBAMA. 1992. *Mapa de Vegetação Nativa Lenhosa do Estado do Rio Grande do Norte*. Folha Macau. SB-24-X-D- 11, escala 1:100.000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 22 de março de 2009.

IDEC – Instituto de desenvolvimento econômico e meio ambiente do Rio Grande do Norte. *Diagnóstico ambiental e sócio-econômico do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte*, 1994, 284p.

IDEC. 1997. *Plano de desenvolvimento sustentável do Rio Grande do Norte*. Natal.

INSTITUTO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE (IDEMA), 2007. Anuário estatístico 2007. [http://www.idema.rn.gov.br/anuario2007/caracterizacao\\_territorio.html](http://www.idema.rn.gov.br/anuario2007/caracterizacao_territorio.html)

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN. 1999. *In: Informativo Municipal — Macau*. Natal/RN, v. 05, p. 1-14.

SUGERCO - Relatório SUGERCO, IDEMA 2002

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte. *Diagnóstico e Vulnerabilidade Ambiental dos Estuários do Litoral Setentrional e de seus Entornos*. Relatório Final do zoneamento Ecológico-Econômico dos Estuários do Estado do Rio Grande do Norte e seus Entornos., Natal/RN. 146, 2005.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos meteorológicos (1992). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Gráficos>>. Acesso em: 05/08/2009.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos meteorológicos (1999). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Gráficos>>. Acesso em: 18/06/2009.

## K

KASISCHKE, E. S., MELACK, J. M., DOBSON, M. C. (1997). The use of imaging radars for ecological applications - a review. *Remote Sensing of Environment*. n.59, p.141:156.

KJERFVE, B. & LACERDA, L.A. 1993. Mangroves of Brazil. In: p: 245-272, L.D. Lacerda (ed.) *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions*. Part I. Latin America. ITTO/ISME, Okinawa.

KÖPPEN, W., 1948. *Climatologia: com um Estúdio de los Climas de la Tierra*. Versión de Pedro R. Hendrichs. México, Fondo de Cultura Económica. 478 p.

## L

LACERDA, L.D. (2002). *Mangrove Ecosystems: Function and Management*. Springer Verlag, Berlin, 332 p.

LACERDA, L.D. 2005. Brazil case study. In: *Principles for a Code of Conduct for the Management and Sustainable Use of Mangrove Ecosystems*. ISME/WB/CENTER, Aahruus, p: 31-35.

LACERDA, L.D., MARINS, R.V. 2002. River damming and changes in mangrove distribution. *ISME/Glomis Electronic Journal* 2(1):1-4.

LE TOAN, T., BEAUDOIN, A., RIOM, J., GUYON, D. (1992). Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. n.30, p.403-411.

LECKIE, D. G., RANSON, K. J. (1998). Forestry applications using imaging radar. In: *Principles and Applications of Imaging Radar*. (F. M. Henderson, and A. J. Lewis, Eds.). New York: John Wiley, p. 435-509.

LEWIS. R.R., Streever. B. 2000. Restoration of mangrove habitat, WPR Technical Notes Collection (ERDC.TN-WRP-VN-RS-3.2), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg. MS.

LEWIS III. R.R. 2001 - Mangrove Restoration – Costs and Benefits of Successful Ecological Restoration. Universiti Sains Malaysia, Penang, 4-8. Beijer International Institute of Ecological Economics, Stockholm, Sweden.

LIMA A.T.O. 1993. *Aplicação de Imagens de Satélite no Mapeamento de Aspectos Geológicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 67 p.

LIMA Z.M.C., Amaro V.E., Vital H. 2001. Monitoramento da Variação da Linha de Costa de Galinhos / RN Utilizando Fotografias Aéreas e Imagens Landsat5 TM e Landsat 7 ETM +. In: Congresso da Abequa, VIII. Imbé, *Anais*. Resumos. Imbé/RS, v. 1, p. 551-552.

LIMA Z.M.C., Alves A.L., Amaro V.E., Vital H. 2002. Coastline evolution of the Galinhos spit (NE Brazil) using air photography and landsat TM images. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2): 497-507.

## M

- MABESOONE J.M., CAMPOS E SILVA A., BEULEN K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, 2: 173-188.
- MANTOVANELLI, A., AMARO, V.E. 2007. Wave and current dynamics on the continental shelf adjacent to the Macau-Serra oil field (RN, Brazil) *Cont. Shelf Res.*
- MACEDO, R.K. Metodologias para sustentabilidade ambiental. In: *Análise Ambiental – Estratégias e Ações – Centro de estudos Ambientais/UNESP*. Ed. T. A. Queiroz/Fundação Salim Farah Maluf. São Paulo. 1995.
- MARINS, R.V.; FREIRE, G.S.S.; MAIA, L.P.; LIMA, J.P.R.; LACERDA, L.D. 2002. Impacts of land based activities on the Ceará coast, NE Brazil. In: Lacerda, L.D.; Kremer, H.H.; Kjerfve, B.; Salomons, W.; Marshall-Crossland, J.I. & Crossland, J.C. (eds.) *South American Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions*. LOICZ Reports & Studies No. 21, p: 92-98.
- MARINS, R.V. & DIAS, F.J.S. 2003. Alteração na hidroquímica do Estuário do Rio Jaguaribe: Descarga ou retenção de sedimentos. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Geoquímica*, Belém, p: 480-482.
- MEIRELLES, M. S. P. 1997. *Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento - Uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos*. Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 192 p.
- MIRANDA F.M. 1983. *Geologia da Área de Macauzinho, Litoral Leste do Estado do Rio Grande do Norte*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 168 p.
- MISUZAKI, A. M. P., 1987. A Formação Macau, Bacia Potiguar. Rio de Janeiro, PETROBRAS. Boletim interno.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250p.
- MUEHE, D. Erosão e Propagação do Litoral Brasileiro, Ministério do Meio Ambiente e Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Rio de Janeiro.

## N

- NASCIMENTO, M. C. *A erosão costeira e sua influencia sobre a atividade petrolífera: Alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais*. 2009. 222 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica e Geodinâmica). Programa de Pós-graduação de Geofísica e Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.
- NATRONTEC 1998. Estudo de impacto ambiental para a implantação do pólo Gás Sal no Município de Macau-RN. Diagnostico, análise de impactos e programas de gestão ambiental, Relatório Final. Rio de Janeiro/Natal.
- NATRONTEC/ECOPLAN 1995. *Estudo de Impacto Ambiental da Fábrica de Barrilha da ALCANORTE e Implantação de Emissário Submarino no Município de Macau-RN*.

Diagnostico, Análise de Impactos e Programa de Gestão Ambiental, Relatório Final. Rio de Janeiro/Natal.

NIMER, E. 1989. Climatologia do Brasil. 2ªed., IBGE-SUPREN, Rio de Janeiro;RJ. 422 p.  
NORDSTROM, K. F.; Psuty, N. e Carter, B. 1990. Coastal Dunes, Form and Process. Inglaterra: Ed. John Wiley & Sons, 392p.

## P

PARANHOS FILHO, A. C. 2000. *Análise geo-ambiental multitemporal: o estudo de caso da região de Coxim e da bacia do Taquarizinho (MS - Brasil)*. Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado. 213 p.

PEREIRA JR, A. C., SETZER, A. W. (1996). Comparison of fire detection in savannas using AVHRR channel 3 and TM images. *International Journal of Remote Sensing*. n.17, p.1925-1937.

PESSOA NETO, O.C. 1999. Análise estratigráfica integrada da plataforma mista (siliciclástica-carbonática) do Neógeno da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 220 p.

PESSOA NETO, O.C., 2003. Estratigrafia de Sequências da Plataforma Mista Neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(3): 263-278.

PESSOA NETO, O.C.; SOARES, U.M.; SILVA, J.G.F.; ROESNER, E.H.; FLORÊNCIO, C.P.; SOUZA, C.A.V. 2007. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 357-369.

PESSOA NETO, O.C.; Soares, U.M.; Silva, J.G.F.; Roesner, E.H.; Florêncio, C.P.; Souza, C.A.V. 2007. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 357-369.

PROST, M.T.R.C. & RABELO, B.V. 1996. Variabilidade fito-espacial de manguezais litorâneos e dinâmica costeira: exemplos da Guiana Francesa, Amapá e Pará. *Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi*. 8: 101-121.

## R

RIEDEL, K. 2000. Untersuchungen zur Küstendynamik und Küstenentwicklung bei São Bento (NE-Brasilien). 55 f. Thesis (MSc Marine Geology) - Institute of Geosciences, Christian Albrechts University in Kiel, Germany, 2000

## S

SAMPAIO A. V. & SCHALLER, H. 1968. Introdução à estratigrafia da Bacia Potiguar. *Boi. Toe. PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 11 (1):19-44, jan./mar.

SAMPAIO, E.V.S.B.; MAYO, S.J. & BARBOSA, M.R.U. Pesquisa Botânica Nordestina: Progresso e Perspectivas. Recife: SSB/Secção Regional de Pernambuco. 1996.

- SANT'ANNA, S. J. S., YANASSE, C. C. F., HERNANDEZ FILHO, P., KUPLICH, T. M., DUTRA, L. V., FRERY, A. C., SANTOS, P. P. (1995). Secondary forest age mapping in Amazonia using multitemporal Landsat TM imagery. In IGARSS'95. p. 323-325. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications. Firenze, Italy.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Vulnerabilidade do litoral norte do Estado de São Paulo a vazamentos de petróleo e derivados. In II Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira. Síntese de conhecimentos. S P: Academia de Ciências do Estado (2), p.375-399. 1990.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1991) - *Manguezais brasileiros*. Tese de Livre Docência, 42p., Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Perfil dos ecossistemas brasileiros, situação atual, diagnóstico e perspectivas (com especial ênfase sobre o Ecossistema Manguezal)*. Instituto Oceanográfico-USP, São Paulo, 2002.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. & CINTRÓN, G. (1986). Guia para estudos em áreas de manguezal. Estrutura, Função e Flora. Caribbean Ecological Research, 150p.
- SEPLAN 1997. *Plano de desenvolvimento sustentável do RN*. Natal, Secretaria de Planejamento e Finanças, Governo do Estado do Rio Grande do Norte.
- SHIMABUKURO, Y. E., HERNANDEZ FILHO, P., KOFFLER, N. F., CHEN, S. C. (1980). Automatic classification of reforested Pine and Eucalyptus using Landsat data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. n.46, p.209-216.
- SIAL, A. N.; LONG, L. E.; PESSOA, D. A. R.; KAWASHITA, K. 1981. Potassium-Argon ages and strontium isotope geochemistry of Mesozoic and Tertiary basaltic rocks, Northeastern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências.
- SILVA C.G. 1991. *Holocene Stratigraphy and Evolution of the Açu River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil*. Duke University, United States, Doctor Philosophy Theses, 359 p.
- SILVA, A. F. 2000. O Zonemaento Ecológico-Econômico como Instrumento de gestão do Território: o caso do estuário Curimatáu/Cunhaú (RN) e seu entorno. Rio de Janeiro/RJ: Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Tese de Douotrado).
- SILVA, D.R.V; AMARO, V.E. ; SOUZA, D.S. ; SOUZA, A.S. ; MELO, B.S. ; SOUTO, M.V.S. ; PEREIRA, B.R.B. . Integração de produtos de sensores ativos e passivos aplicada ao monitoramento ambiental no litoral do Rio Grande do Norte. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis-SC. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. p. 6237-6242.
- SILVA. D. R. V. 2009. A paisagem costeira nas adjacências da foz do Rio Assu (RN) a partir da integração de imagens óticas e de RADAR. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 22 p.
- SILVEIRA. I.M. 2002 - Estudo Evolutivo das Condições Ambientais da Região Costeira do Município de Guamaré – RN. Dissertação de Mestrado, PPGG, Universidade Federal do Rio Grande ,172p.

- SOARES, M.L.G., 1997. *Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil – análise de modelos*. Tese de doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo.
- SOARES. U.M.; ROSSETTI. E.L. E CASSAB. R.C.T. 2003 - Bacias sedimentares brasileiras, Bacia Potiguar. Phoenix. Ano 5. Nº 56.
- SOARES, M.L.G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 2005. Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65 pp. 1-18.
- SOUTO M.V.S. 2002. *Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmica costeira da ponta do Tubarão, Macau-RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e SIG*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 67 p.
- SOUTO. M.V.S. 2004. Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, município de Macau/RN. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Dissertação de Mestrado, 112 p.
- SOUTO. M.V.S. 2009. Análise da evolução costeira do litoral setentrional do estado do rio grande do norte, região sob influência da indústria petrolífera. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SOUZA, S. M. 1982. Análise da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, *Anais*. Salvador, 5: 2392-2406.
- SOUZA, F. E. S. Evolução morfodinâmica da região de influência estuarina do rio Curimataú/RN, com ênfase nas alterações do ambiente deposicional de manguezal e a integração de geodados em SIG. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, 2004. F. 150.
- SOUZA, A.S. 2008. Aplicação do Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas na Caracterização da Pluma de Sedimentos na Foz do Piranhas –Açu. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 120p.
- SPALDING, M.D., BLASCO, F. & FIELD, C.D. 1997. World Mangrove Atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japão. 178 p.
- SRHPE – Secretaria de Recursos Hídricos e Projetos Especiais. Programa de Ação para o Desenvolvimento do Turismo no Nordeste (PRODETUR). 2002. *Relatório dos Mapa Temáticos do Rio Grande do Norte*. VBA Consultores. Biblioteca do IDEMA/RN. Natal/RN, 131 p.
- SUDENE. 1969. *Cartas Topográficas. Escala 1:100.000. Folhas: SB-24-X-D-II Macau e SB-24-X-D-III São Bento do Norte. Região Nordeste do Brasil*. MINTER – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.
- SUDENE. 1971. *Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte: Série, Pedologia, 9, Recife/PE. 531 + Anexo: Mapa Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte. 1968, escala 1:500.000*.

SUGUIU. K.; MARTIN. L. FLEXOR. J.M. 1988 – Quarternary sea levels of the Brazilian Coast: Recent Progress *Episoides*, vol 11, n.3, p. 203-209

### T

TABOSA W.F. 2000. *Dinâmica costeira da região de São Bento do Norte e Caiçara do Norte – RN*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 76 p.

TABOSA W.F., VITAL H., AMARO V.E. 2002. Control of the coastal setting in the São Bento do Norte and Caiçara do Norte beach-NE/Brasil. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2):383-392.

TAKAYUKI TSUJI, MARCUS E. B. FERNANDES, FRANCISCO P. DE OLIVEIRA, DENIS DOMINGUES, *Vivendo e Aprendendo com os Manguezais*, 2006, 60p. Bragança, Pa.

TEIXEIRA, L. 1990. Reinterpretação Sísmica do 3D de Pescada e adjacências. Petrobras, Relatório Interno.

THE OPEN UNIVERSITY, 1989. *Waves, tides and shallow-water processes.*, Pergamon Press, 187p.

THIAM, A.; EASTMAN, R. *Vegetation Indices*. In: *Guide to and image processing*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 2. IDRISI32.

THURMAN, H. V. 1997 - *Introductory Oceanography*, Prentice Hall, New Jersey, 544 p.

TWILLEY, R.R.; CHEN, R.H.; HARGIS, T. 1992. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air & Soil Pollution* 64 (1-2) pp. 265-288.

### V

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, Depto. de Recursos naturais e Estudos Ambientais. 2001. 124p.

VERBYLA, D. *Satellite remote sensing of natural resources*. New York: [s.n.], 1995. 198 p.

VILAÇA. J.C.; NOGUEIRA. A.M.B.; SILVEIRA. I.M., CARVALHO. M.S.; CUNHA. E.M.S. 1985. *Geologia Ambiental da Área Costeira da Ponta de Búzios à Barra de Maxaranguape, RN*. In: SBG, XII Simpósio de Geologia do Nordeste, 12. p. 220- 227.

### W

WARING, R. H., WAY, J., HUNT JR., E. R., MORRISSEY, L., RANSON, K. J., WEISHAMPEL, J. F., OREM, R., FRANKLIN, S. E. (1995). *Imaging radar for ecosystems studies*. *BioScience*. n.45, p.715-723.

WALSH, G.E. 1974. *Mangroves: a review*. In: REIMOLD, R.J. & QUEEN, W.H.(Eds.). *Ecology of halophytes*. Academic Press, New York, p. 51-174.

WOODROFFE, C.D. 1990. The impact of sea level rise on mangrove shorelines. *Progress in.*

---

X

XAVIER DA SILVA, J. 2000. Geomorfologia, análise ambiental e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1:48-58.

XAVIER DA SILVA J. 2001. *Geoprocessamento: para análise ambiental*. Rio de Janeiro. 228 pp.

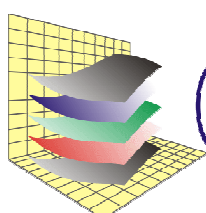
XAVIER DA SILVA, J.; PERSSON, V. G.; LORINI, M. L.; BERGAMO, R. B. A.; RIBEIRO, M. F.; COSTA, A. J. S. T. DA; IERVOLINO, P.; ABDO, O. E. 2001. Índice de Geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade. In: Garay, I.; Dias, B. (Orgs.) *Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais*. Petrópolis: Vozes, p. 299-316.



---

# ANEXOS

---



**GEOPRO** Laboratório de  
Geoprocessamento

**ANEXO 1: Estatística da imagem LANDSAT 5-TM de 10/setembro/2009.**

STATISTICS FOR DATASET: merge_2009_09_10_bruno.ers							REGION: All
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	
Band6							
Non-Null Cells	1309608	1309608	1309608	1309608	1309608	1309608	1309608
Area In Hectares	29466.180	29466.180	29466.180	29466.180	29466.180	29466.180	29466.180
Area In Acres	72812.522	72812.522	72812.522	72812.522	72812.522	72812.522	72812.522
Minimum	57.000	18.000	14.000	2.000	0.000	0.000	0.000
Maximum	255.000	205.000	239.000	209.000	255.000	255.000	255.000
Mean	106.463	51.692	52.759	62.020	85.172	43.079	43.079
Median	103.000	46.000	37.000	71.000	84.000	28.000	28.000
Std. Dev.	34.277	24.008	37.151	43.257	73.782	46.029	46.029
Std. Dev. (n-1)	34.277	24.008	37.151	43.257	73.782	46.029	46.029
Corr. Eigenval.	4.994	0.890	0.069	0.032	0.012	0.004	0.004
Cov. Eigenval.	10988.157	1338.642	158.641	50.816	25.768	3.101	3.101
Correlation Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	
Band1	1.000	0.974	0.902	0.456	0.563	0.732	
Band2	0.974	1.000	0.967	0.586	0.671	0.825	
Band3	0.902	0.967	1.000	0.743	0.809	0.919	
Band4	0.456	0.586	0.743	1.000	0.943	0.881	
Band5	0.563	0.671	0.809	0.943	1.000	0.957	
Band6	0.732	0.825	0.919	0.881	0.957	1.000	
Determinant	0.000						
Corr. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	
Band1	0.379	-0.549	-0.000	0.658	0.102	0.336	
Band2	0.412	-0.408	-0.157	-0.172	-0.057	0.778	
Band3	0.438	-0.176	-0.163	-0.611	-0.334	0.516	
Band4	0.377	0.536	-0.702	0.198	0.196	0.002	
Band5	0.405	0.426	0.452	0.276	-0.600	0.118	
Band6	0.435	0.181	0.501	-0.223	0.690	0.033	
Inv. of Corr. Ev.	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	
Band1	0.379	0.412	0.438	0.377	0.405	0.435	
Band2	-0.549	-0.408	-0.176	0.536	0.426	0.181	
Band3	-0.000	-0.157	-0.163	-0.702	0.452	0.501	
Band4	0.658	-0.172	-0.611	0.198	0.276	0.223	
Band5	0.102	-0.057	-0.334	0.196	-0.600	0.690	
Band6	0.336	-0.778	0.516	0.002	-0.118	0.033	
Covariance Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	
Band1	1174.895	801.646	1148.714	676.831	1423.567	1155.647	
Band2	801.646	576.397	862.694	609.067	1189.008	911.300	
Band3	1148.714	862.694	1380.188	1194.264	2218.290	1572.143	
Band4	676.831	609.067	1194.264	1871.207	3009.409	1754.277	
Band5	1423.567	1189.008	2218.290	3009.409	5443.800	3250.268	
Band6	1155.647	911.300	1572.143	1754.277	3250.268	2118.639	
Determinant	9474949891537.762						
Cov. Eigenvectors	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	
Band1	0.230	0.654	0.010	0.580	0.327	0.276	
Band2	0.183	0.388	0.111	-0.019	-0.126	0.887	
Band3	0.322	0.402	0.225	-0.412	-0.616	0.367	
Band4	0.383	-0.338	0.826	0.091	0.220	0.001	
Band5	0.689	-0.373	-0.432	0.337	-0.290	0.041	
Band6	0.434	0.081	-0.261	-0.610	0.604	0.020	

Inv. of Cov. Ev. -----	PC1 -----	PC2 -----	PC3 -----	PC4 -----	PC5 -----	PC6 -----
Band1	0.230	0.183	0.322	0.383	0.689	0.434
Band2	0.654	0.388	0.402	-0.338	-0.373	0.081
Band3	0.010	0.111	0.225	0.826	-0.432	0.261
Band4	0.580	-0.019	-0.412	0.091	0.337	0.610
Band5	0.327	-0.126	-0.616	0.220	-0.290	0.604
Band6	0.276	-0.887	0.367	0.001	-0.041	0.020