



**Universidade Federal do Rio Grande do Norte**  
**Centro de Ciências Exatas e da Terra**  
**Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DINÂMICA DA PAISAGEM NO LITORAL ORIENTAL  
DO RIO GRANDE DO NORTE: GEOCARTOGRAFIA E  
PADRÕES ESPACIAIS DOS CAMPOS DE DUNAS  
MÓVEIS**

**Autor:**

**LUCYANNO DOS REIS FERNANDES**

**Orientador:**

**Dr. RICARDO FARIAS DO AMARAL**

**Dissertação n.º 106/PPGG.**

**Natal-RN, Outubro de 2011**

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



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Dinâmica da paisagem no litoral oriental do Rio Grande do  
Norte: geocartografia e padrões espaciais dos campos de  
dunas móveis**

Autor:

**Lucyanno dos Reis Fernandes**

Dissertação apresentada em 06 de Outubro de dois mil e onze, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN como requisito à obtenção do Título de Mestre em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

**Dr. Ricardo Farias do Amaral (orientador) – UFRN/PPGG**

**Dr. Eduardo Martins Venticinque – UFRN/PPGE**

**Dr<sup>a</sup>. Cynthia Romariz Duarte – DG/UFC**

Natal-RN, Outubro de 2011

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial  
Especializada do Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Fernandes, Lucyanno dos Reis.

Dinâmica da paisagem no litoral oriental do Rio Grande do Norte:  
geocartografia e padrões espaciais dos campos de dunas móveis / Lucyanno dos  
Reis Fernandes. – Natal, RN, 2011.

131 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande  
do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de  
Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

1. Dunas – Dissertação. 2. Rio Grande do Norte – Litoral oriental – Dissertação. 3.  
Geoprocessamento – Dissertação. 4. Sensoriamento remoto – Dissertação. 5. Evolução espaço-  
temporal – Dissertação. I. Amaral, Ricardo Farias do. II. Título.

*Posso, tudo posso Naquele que me fortalece  
Nada e ninguém no mundo vai me fazer desistir*

*Vou perseguir tudo aquilo que Deus já escolheu pra mim  
Vou persistir, e mesmo nas marcas daquela dor  
Do que ficou, vou me lembrar  
E realizar o sonho mais lindo que Deus sonhou  
Em meu lugar estar na espera de um novo que vai chegar  
Vou persistir, continuar a esperar e crer ...  
Eu vou sofrendo, mas seguindo enquanto tantos não entendem  
Vou cantando minha história, profetizando  
Que eu posso, tudo posso... em JESUS!*

Fábio de Melo

*“... O mundo não é um grande arco-íris  
É um lugar sujo, cruel...  
Vai bater forte, te deixar de joelhos  
até você cair no chão  
e não ter forças para se levantar...”*

*Mas não se trata de bater forte  
Trata-se de quanto você aguenta apanhar  
E seguir tentando....  
Quanto você aguenta cair  
E seguir em frente  
É ASSIM QUE SE VENCE! ...”*

R. Balboa

*Pra encarar essa parada  
o cabra tem que ser macho!  
Seu Queiroz “o viajado”*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente tenho que citar a **DEUS, ELE** foi e **É** o regente de todas as etapas, desde a seleção do mestrado até os momentos finais do fechamento desta dissertação. Pensar em Deus nesse momento pode ser traduzido em uma única palavra GRATIDÃO. "Sou grato a ti SENHOR" por todos os acertos e principalmente, pelos erros cometidos porque humildemente eles representam limitações que aos poucos foram lapidadas para conquista desta etapa da vida. Amém.

Agradeço a minha família, a minha notável mãe Maria do **Socorro** Fernandes pela força, incentivo, pelo cafezinho estimulante das madrugadas, aos meus queridos irmãos **Lucyanna** "Nagata" e **Samuel** "Manuelzinho" que em várias ocasiões foram pacientes e nem questionavam minha ansiedade por saber que estava escrevendo. Vovó **Raimunda** e aos meus tios **Francisco** "Chico" e **Severino** "Tibilino" exemplos de vida e da nobreza que existe na simplicidade do ser humano. Meu falecido pai Wallace **Júnior** Leite Fernandes e agregados. Devo muito a todos, **valeu Família!!!!**

O professor Dr. Ricardo Amaral, que antes de ser um orientador foi uma das pessoas que mais acreditou no meu trabalho, e hoje se estou concluindo esta dissertação posso dizer que ele, além de cumprir seu papel de professor, me fez ver a grandeza ambiental que existe nas áreas costeiras e principalmente, que pesquisar, fazer ciência, gerar conhecimento é incansavelmente fascinante. Agradeço fortemente ao professor Dr. Eduardo Martins Venticinque (Dadão) pela gentileza e prontidão aceitando compor a banca. De forma muito especial a professora Dr<sup>a</sup>. Cynthia Romariz Duarte, pela honra de poder contar com as contribuições de quem a 4 anos, junto com a Professora Adriana Almeida (DBEZ), me apresentou o Sensoriamento Remoto. Ao programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica na pessoa da coordenadora Helenice Vital, do vice-coordenador Zorano Sergio, a CAPES por viabilizar o trabalho através da bolsa de pesquisa concedida. Agradeço com muito carinho a Secretária/PPGG Nilda Araújo pela excelência, educação e paciência sempre pronta a atender da melhor forma aos seus "meninos sapecas".

Obviamente, a todos os colegas pelos laços de amizade e trabalho construídos ao longo desta jornada acadêmica, aos grandes e nobres: João Paulo, Rodrigo, Rejane, Julia, Ângelo "Japa", Eduardo "Erosão", Hanyel "Coletores", Fátima LABSED, Karina, Mek "ArcGis", Lino, Jonas, Mogli, Mukessi "Indian", Anderson Pará, Rafael CE, seu Queiroz "o viajado". Ao nobre Maurício "Baíto" e ao Caio "supercópia" pelo socorro na hora das impressões. As últimas linhas reservo a uma pessoa muito querida; agradeço a você **Yannice** Santos pelos votos de sucesso e pelo que representa hoje e representará amanhã nos nossos próximos 80 anos... Obrigado a todos! É assim que se vence!

**Resumo:**

Esta dissertação apresenta os resultados de uma pesquisa desenvolvida na região costeira entre os municípios de Maxaranguape e Touros, especificamente nos campos de dunas móveis do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte. Zonas costeiras, ainda que ocupem uma área pequena em relação ao total da superfície terrestre, concentram grande parte da população no mundo. No Rio Grande do Norte, o mosaico da paisagem costeira que compõe os campos de dunas móveis sugere um cenário dinâmico de mudanças nos arranjos espaciais e temporais, com alterações significativas na geometria da cobertura sedimentar superficial. Nesta perspectiva este projeto de pesquisa tem como objetivo, cartografar a zona costeira emersa referente ao litoral oriental do Rio Grande do Norte, sob ponto de vista da evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, aí incluídos sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas (SIG). Os resultados implicam na edição das cartas temáticas: mapa Geológico; mapa da evolução multitemporal dos campos de dunas móveis; mapa da quantificação das diferenças dos campos de dunas móveis; mapa da Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis. Episódios do El Niño que afetam diretamente a circulação atmosférica, potencializando o aporte sedimentar para as dunas de areia, podem justificar relativo aumento de área entre 1993 e 2001. A dinâmica das transições na paisagem foram superiores a estabilidade dos padrões espaciais dunas e do seu entorno, de tal forma que os campos de dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte, e principalmente as dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú apresentaram redução da área de cobertura sedimentar desprovida de vegetação entre 1970 e 2007. Por fim, as técnicas e dados levantados, eventualmente, podem ser aplicados ao monitoramento de campos de dunas móveis visando a conservação e a manutenção dos ecossistemas dunares dispostos ao longo de toda costa do Rio Grande do Norte.

**Palavras chaves:** Dunas, Litoral oriental, Geoprocessamento, Sensoriamento remoto e Evolução espaço-temporal.

**Abstract:**

This study shows the results of a research developed in the coastal regions of the Maxaranguape and Touros municipalities, more specific in the mobile dune fields of the Rio Grande do Norte's eastern coast. Although the coastal zones, represent a small percentage of the earth's surface it concentrates a great part of the world's population. The Rio Grande do Norte's state coastal landscape mosaic composed by the dune fields suggest a dynamic scene of changes in the spatial and temporal arranges, with significant changes in the geometry of the sedimentary cover. Following this perspective this research has the objective to map the emerged coastal zone of the Rio Grande do Norte's eastern coast under the perspective of the time-space evolution of the mobile dune fields using geoprocessing techniques, which includes remote sensing, digital images processing and geographic information system (GIS). The results imply the issue of thematic maps: Geologic map; multitemporal evolution map of the mobile dune fields; quantification of the mobile dune fields differences map; temporal evolution of the mobile dune fields surrounds map. The El Niño episodes have directly affected the atmospheric circulation, what have enhanced the sedimentary input in the sand dune, what can justify the relative area growth between the years of 1993 and 2001. The dynamic of the landscape transition were higher than the stability of the spatial pattern of the dune and it's surrounds, as a result the Rio Grande do Norte eastern coast dune fields, specially the mobile dunes from Touros, Zumbi and Maracajau have shown a decrease on the sedimentary cover without vegetation area from 1970 to 2007. Therefore, the data acquired and the techniques used, can be, eventually applied to the mobile dune fields monitoring in order to preserve the dune ecosystems in the Rio Grande do Norte coast.

**Key words:** Dunes, Eastern coast, Geoprocessing, Remote sensing and Time-space evolution.

## **SUMÁRIO**

<b>Agradecimentos</b>	<b><i><u>i</u></i></b>
<b>Resumo</b>	<b><i><u>ii</u></i></b>
<b>Abstract</b>	<b><i><u>iii</u></i></b>
<b>Sumário</b>	<b><i><u>iv</u></i></b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b><i><u>viii</u></i></b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b><i><u>xiii</u></i></b>
<b>Lista de Siglas</b>	<b><i><u>xiv</u></i></b>
<b><u>Capítulo I – Introdução</u></b>	<b><u>01</u></b>
1.1 – Considerações Iniciais	<u>01</u>
1.2 – Justificativa	<u>02</u>
1.3 – Hipótese de Trabalho	<u>02</u>
<b><u>Capítulo II – Objetivos</u></b>	<b><u>03</u></b>
2.1 – Objetivo Geral	<u>03</u>
2.2 – Objetivos Específicos	<u>03</u>
<b><u>Capítulo III – Fundamentação Teórica</u></b>	<b><u>04</u></b>
3.1 – Dunas	<u>04</u>
3.1.1 – Formação das Dunas	<u>04</u>
3.1.2 – Classificação das Dunas	<u>06</u>
3.1.2.1 – Dunas Parabólicas	<u>06</u>
3.1.2.2 – Dunas Barcanas	<u>07</u>

3.1.2.3 – Dunas de sombra	<u>08</u>
3.1.2.4 – Dunas em Domos	<u>08</u>
3.1.2.5 – Dunas de Blowouts	<u>08</u>
3.1.2.6 – Dunas Reversas	<u>09</u>
3.1.2.7 – Dunas Estrelas	<u>09</u>
3.1.2.8 – Bacia de deflação	<u>09</u>
3.2 – Sensoriamento Remoto aplicado ao mapeamento de dunas e áreas costeiras	<u>11</u>
3.2.1 – Principais estudos no Brasil	<u>13</u>
3.2.2 – Estudos no Rio Grande do Norte	<u>15</u>
3.3 – Sensoriamento Remoto: a arte de manipular dados e obter informações	<u>18</u>
<b><u>Capítulo IV – Materiais e Métodos</u></b>	<b><u>22</u></b>
4.1 – Localizações da Área de Estudo	<u>22</u>
4.2 – Levantamentos de dados e informações pré-existentes	<u>23</u>
4.2.1 – Levantamento bibliográfico e cartográfico	<u>23</u>
4.3 – Criação do Mapa Geológico Geral	<u>23</u>
4.3.1 – Mapa Geológico	<u>23</u>
4.3.2 – Seleção das áreas piloto	<u>23</u>
4.4 – Sensoriamento Remoto	<u>24</u>
4.4.1 – Produtos de sensores remotos utilizados	<u>24</u>
4.4.2 – Utilização de produtos multiespectrais	<u>25</u>
4.4.2.1 – Quantificação das diferenças - multi-temporais	<u>26</u>
4.4.3 – Utilização de Fotografias aéreas	<u>26</u>
4.5 – Processamento digital de imagens (PDI)	<u>28</u>

4.5.1 – Pré-processamento	<u>28</u>
4.5.2 – Processamento	<u>28</u>
4.5.2.1– Realce de contraste	<u>28</u>
4.5.2.2– Espaço Red, Green, Blue e Intensity, Hue, Saturation (RGB - IHS)	<u>29</u>
4.5.2.3– Análise por Principais Componentes (PCs)	<u>30</u>
4.5.2.4– Composições Testadas	<u>32</u>
4.5.2.5– Mosaicagem das fotografias aéreas	<u>35</u>
4.6 – Vetorização	<u>35</u>
4.7 – Classificação Supervisionada MaxVer	<u>37</u>
4.8 – Trabalhos de campo	<u>38</u>
4.8.1– Sistema Global de Posicionamento - GPS	<u>38</u>
4.9 – Cartas temáticas geradas	<u>39</u>
4.10 – Aplicabilidade dos métodos	<u>40</u>
<b><u>Capítulo V – Resultados Obtidos</u></b>	<b><u>42</u></b>
5.1 – Mapa Geológico	<u>42</u>
5.1.1 – Descrição das unidades em função das áreas piloto	<u>43</u>
5.2 – Sensoriamento Remoto	<u>44</u>
5.2.1– Imagens multiespectrais	<u>44</u>
5.2.1.1– Análise Multitemporal dos campos de dunas móveis - LANDSAT (1988, 1993, 2001 e 2007).	<u>44</u>
5.2.2 – Fotografias aéreas	<u>56</u>

5.2.2.1– Análise temporal dos campos de dunas móveis entre 1970 e 2006	<u>56</u>
5.3 – Dinâmica da paisagem no entorno dos campos de dunas móveis: Touros, Zumbi e Maracajaú entre os anos de 1970 e 2006.	<u>59</u>
5.4 – Cartas Temáticas geradas	<u>61</u>
5.4.1 – Produto temático gerado pela estatística supervisionada	<u>61</u>
5.4.1.1– Touros	<u>62</u>
5.4.1.2– Zumbi	<u>63</u>
5.4.1.3– Maracajaú	<u>63</u>
5.4.2 – Produto temático gerado pelo método de interpretação visual com vetorização	<u>66</u>
5.4.2.1– Touros	<u>66</u>
5.4.2.2– Zumbi	<u>67</u>
5.4.2.3– Maracajaú	<u>67</u>
<b><u>Capítulo VI – Discussão</u></b>	<b><u>69</u></b>
6.1 – Aspectos Gerais	<u>69</u>
6.2 – Análise da paisagem no entorno dos campos de dunas da região de Touros, Zumbi e Maracajaú (1970 - 2006)	<u>71</u>
6.3 – Evolução das Dunas costeiras no litoral oriental do RN	<u>82</u>
<b><u>Capítulo VII – Considerações Finais</u></b>	<b><u>89</u></b>
7.1 – Conclusões	<u>89</u>
7.2 – Recomendações	<u>90</u>
<b><u>Referências Bibliográficas</u></b>	<b><u>91</u></b>
<b><u>Apêndice – artigo em anexo</u></b>	<b><u>104</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Formação de uma duna móvel em função da direção do vento e movimentos dos grãos de areia. Adaptado de Jensen (2009) 05
- Figura 3.2 – Campo de duna móvel em Maracajaú/ RN. Polígonos cinza: morfologia básica de uma duna parabólica em função da direção do vento. Adaptado: Pye e Tsoar, (1990). As linhas e o quadrado vermelho indicam a localização da porção frontal (sotavento) em campo de duna móvel em Maracajaú/ RN. Foto do autor (2009) 07
- Figura 3.3 – Morfologia duna barcana. A seta branca ilustra sentido do vento predominante. Campo de duna gigante situado no Marrocos 28° 02´ N/ 12° 11´W. Modificado de Andreotti et al. (2009). Esquema: polígonos e linhas vermelhas marcam os limites da morfologia. Os círculos amarelos destacam a posição das extremidades das dunas. Adaptado Pye e Tsoar, (1990) 07
- Figura 3.4 – Figura 3.4 – A) Seta de cor branca indicando sentido do vento na praia de Zumbi/RN. B) Fotografia área/2006 numa porção da costa em Zumbi/ RN. Circulo branco: Blowout em campo de duna móvel. Foto do autor 08
- Figura 3.5 – Morfologia típica de uma duna estrela. A seta branca ilustra sentido do vento predominante. Crista central destacada pelo círculo vermelho. Campo de duna situado em Mauritania 18° 09´ N/ 15° 29´W. Modificado de Andreotti et al. (2009) 09
- Figura 3.6 - Foto da bacia de deflação região próxima a praia de Pititinga, município de Rio do Fogo/ RN. Arquivo pessoal – foto Eduardo Q. Lima 10
- Figura 3.7 – Esquema: Bacia de deflação do tipo alongada. As setas brancas indicam sentido do vento. Os números 1, 2, 3, respectivamente, representam; o lóbulo deposicional, a bacia de deflação e as paredes erodidas. Adaptado e modificado de Hesp (2002) e de Gianinni et al. (2005) 10
- Figura 4.0 – Área de estudo geral: limites da Folha Touros (linha vermelha). Municípios: Touros, Pureza, Rio do Fogo, Maxaramanguape, Ceará-Mirim. Áreas piloto: adjacências das Dunas Touros, Zumbi e Maracajaú (polígonos verdes) 22
- Figura 4.1 – Área de estudo geral: limites da Folha Touros. Áreas piloto: adjacências das Dunas Touros, Zumbi e Maracajaú 24

Figura 4.2 – Fotografia aérea Campo de duna móvel em Zumbi/ 2006 (aplicativo ErMapper 7.0)	<u>29</u>
Figura 4.3 – Matriz de correlação entre bandas do sistema Landsat7ETM+	<u>30</u>
Figura 4.4 – Produto imagem PC1 e PC6 do Landsat7ETM+ (aplicativo ErMapper)	<u>31</u>
Figura 4.5 – Composição colorida RGB 521	<u>32</u>
Figura 4.6 – Composição colorida RGB 541	<u>33</u>
Figura 4.7 – Composição colorida R(PC5) G(PC4) B(PC3)	<u>33</u>
Figura 4.8 – Composição colorida R(PC5) G(PC3) B(PC4)	<u>34</u>
Figura 4.9 – Fotografias áreas para os anos de 1970 e 2006	<u>36</u>
Figura 4.10 – Fotos das coletas e verificações ocorridas em campo. Acervo/ autor (2009 e 2010)	<u>38</u>
Figura 4.11 – Síntese da metodologia	<u>40</u>
Figura 5.1 – Mapeamento Geológico na escala de 1:100.000: limites da Folha Touros	<u>42</u>
Figura 5.2 – Evolução multitemporal das dunas entre 88 e 93. Na escala de 1:100.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto	<u>46</u>
Figura 5.3 – Evolução multitemporal das dunas entre 2001 e 2007. Na escala de 1:100.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto	<u>47</u>
Figura 5.4 – Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Touros	<u>50</u>
Figura 5.5 – Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Touros	<u>51</u>
Figura 5.6 – Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Zumbi	<u>52</u>
Figura 5.7 – Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Zumbi	<u>53</u>

- Figura 5.8 – Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Maracajaú 54
- Figura 5.9 – Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Maracajaú. 55
- Figura 5.10 – Evolução temporal dos campos de dunas transgressivos. Mapeamento realizado por classificação supervisionada (MaxVer). Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas coloridas verde, azul e amarelo: áreas piloto de Touros, Zumbi e Maracajaú 58
- Figura 5.11 – Fotografias aéreas entre os anos de 1970 e 2006. Os campos de dunas das áreas pilotos foram limitados pelos polígonos coloridos das áreas piloto 60
- Figura 5.12 – Mapa da Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajaú (classificação supervisionada Max Ver) 65
- Figura 5.13 – Mapa da Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajaú (interpretação visual com vetorização) 68
- Figura 6.1 – Paisagem costeira da região de Touros. Especialmente marcadas pelas unidades de uso do solo: Dunas vegetadas, Dunas móveis, Restinga. Foto do autor - 2009 69
- Figura 6.2 – Ocupações urbanas do município do Rio do Fogo, localizadas próximo ao Parque Eólico. Foto do autor - 2010 71
- Figura 6.3 – Duna vegetada adjacente a praia de Zumbi - município de Rio do Fogo, nas proximidades do parque eólico. Foto: feição típica de uma bacia de deflação interdunar. Abaixo da linha tracejada duna vegetada e acima (próximo área urbana) formação de bacia de deflação ocupada pela vegetação da restinga. Foto do autor - 2010 72
- Figura 6.4 – Feição típica de lagoa interdunar. Foto do autor - 2010 74
- Figura 6.5 – Paisagem costeira sob o ponto de vista da cobertura do solo. Panorama geral das classes mapeadas: Dunas móveis (a), Dunas vegetadas (b), Lagoas 75

temporárias (c), Oceano (d), Ocupações urbanas (e) (coqueiros fazem parte da área de lazer de uma pousada para turistas), (f) restinga . Foto do autor - 2009

Figura 6.6 – Ocupações antrópicas sobre dunas frontais. Foto retirada dentro da área de lazer de uma pousada na praia de Zumbi. Em frente da pousada, ocupações tradicionais (c)casas de veraneio sobre (d)dunas frontais adjacentes a linha de costa) Foto do autor - 2009 78

Figura 6.7 – Paisagem costeira dunas frontais em Maracajaú/Maxaramguape. Ocupação desordenada das dunas frontais. A esquerda da embarcação pesqueira bar e restaurante local. Foto do autor - 2010. 79

Figura 6.8 – Gráfico da quantificação da área total de cobertura do solo: respectivamente da esquerda para direita MZT entre os anos de 2006 e 1970. O gradiente cinza das barras indica o tempo final e inicial da análise temporal pelo método da interpretação visual com vetorização dos polígonos. 80

Figura 6.9 – Gráfico da quantificação da área total de cobertura do solo: respectivamente da esquerda para direita MZT entre os anos de 2006 e 1970. O gradiente cinza das barras indica o tempo final e inicial da análise temporal pelo método da classificação estatística (MaxVer) 81

Figura 6.10 – Evolução temporal do campo de duna móvel em Aberffraw, Anglesey, north Wales. Regressão da superfície sedimentar entre 53 anos da analise temporal. Mapa proposto por Bailey e Bristow (2004) 82

Figura 6.11 – Dunas móveis, nos municípios de Touros (a) e Maxaramguape (b;c). Estradas (setas tracejadas) sobre dunas frontais (esquerda) e entre dunas interiores (direita/ abaixo), geralmente, construídas artificialmente para deslocamento de veículos e população local. Foto do autor - 2009 83

Figura 6.12 – Duna frontal (polígono tracejado) localizada na praia de Perobas, município de Touros. Fundamental no aporte de sedimentos para campo de duna móvel que migra ativamente continente adentro. Foto do autor - 2009 84

Figura 6.13 – Duna móvel adjacente a praia de Maracajaú. Foto relativa a migração ativa da duna em função do deslocamento e altura do nível de sedimentos sobre um poste elétrico de rua (Fernandes e Amaral, 2010) 86

Figura 6.14 – Fotos: Feições típicas dos ecossistemas dunares dispostas no mosaico da paisagem costeira do litoral oriental do Rio Grande do Norte. a) foto tirada em frente a face de avalanche do campo de duna móvel em Zumbi; b) duna frontal Zumbi; c) Duna móvel, duna vegetada e bacia deflação ocupada por Restinga em Maracajaú; d) sotavento duna móvel Maracajaú; e) lagoa interdunar em Touros, f) estrada cortando duna vegetada em Touros. Foto do autor - 2009

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 4.1 – Produtos de sensores remotos com os respectivos intervalos em anos. Coordenadas UTM – Zona 25 S - Datum WGS84.	<u>24</u>
Tabela 4.2. Características gerais e aplicações do sensor TM/ETM Landsat5/7 (adaptado Silva, 2009)	<u>25</u>
Tabela 5.1 – Quantificação da área em cada ano. Diferença de área do ano inicial menos o ano seguinte, perspectiva multitemporal	<u>48</u>
Tabela 5.2 - Tabela de quantificação dos campos de dunas móveis pelo método da classificação estatística supervisionada	<u>56</u>
Tabela 5.3 - Tabela de quantificação de cobertura do solo pelo método da classificação supervisionada MaxVer	<u>61</u>
Tabela 5.4 - Tabela de quantificação de cobertura do solo pela interpretação visual com vetorização	<u>66</u>
Tabela 6.1 – Número de habitantes nas principais localidades dos municípios de Touros, Rio do Fogo e Maxaranguape. Notar população das sedes urbanas de Touros, Zumbi e Maracajaú. População das principais sedes urbanas por município. Adaptado Silva (2009)	<u>76</u>

## LISTA DE SIGLAS

APA – área de proteção ambiental

CE – Ceará

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DN – Digital Number

DP – Deriva potencial

ETM+ – Enhanced Thematic Mapper Plus

ENOS – oscilações de temperatura no oceano derivados do El Niño/ La Niña

FT – Folha Touros

GPS – Global Positioning System (Sistema Global de Posicionamento)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IHS – Intensity, Hue, Saturation

INCT – Institutos Nacionais de Ciência & Tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEGEO – Laboratório de Estudos Geoambientais

NE – Nordeste

NRM – Nível Relativo do Mar

MaxVer – Máxima verossimilhança

MLC – Maximum Likelihood Classification

MSS – Multispectral Scanner

PB – Paraíba

PA – Pará

PC – Principais Componentes

PDI – Processamento digital de imagem

PPGG – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

RGB – Red, Green, Blue

RN – Rio Grande do Norte

ROI – Regions of Interest

RS – Rio Grande do Sul

SB25VCII – Limites Cartográficos da Folha Touros

SC – Santa Catarina

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SR – Sensoriamento Remoto

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

LEC – Laboratório de Estudos Costeiros

TM – Thematic Mapper

TZM – Touros, Zumbi, Maracajaú

UTM – Universal Transverse Mercator

ZCIT – Zona de convergência intertropical

WGS – World Geodetic System

# Capítulo 1



## I. Introdução:

### 1.1. Considerações Iniciais

Zonas costeiras, ainda que ocupem uma área pequena em relação ao total da superfície terrestre, concentram grande parte da população no mundo (Walters, 2008; INCT, 2011). Considerando América do Sul, Central e Norte, a linha de costa é praticamente contínua de um pólo a outro. São regiões atrativas do ponto de vista geológico, biológico, econômico e social. Em todo planeta, a diversificada **paisagem natural “desenhada” pelas praias, dunas eólicas, paredões de falésias e corais**, explicam a demanda e forte ocupação das zonas costeiras. O litoral Brasileiro com 8,5 mil quilômetros de costa, desde Tramandaí/RS com suas dunas de areia, passando pelas planícies costeiras vegetadas por mangue de Bragança/PA até a faixa litorânea do Amapá proporciona ao país inúmeros benefícios econômicos vinculados a fonte de renda e emprego para construção civil, gastronomia, lazer, pesca, entre outros (Hazin, 2010; Giannini, 2005).

Geralmente, atividades tais como; extração de recursos minerais, mergulhos turísticos, passeios de buggy, pesca esportiva, surf, parques aquáticos, resorts movimentam o comércio da culinária, de vestuário, do artesanato, dos hotéis, além de ativar as especulações envolvendo exploração petróleo. De fato, são atividades que sinalizam a importância ambiental desses ecossistemas para o país, onde instituições e universidades de renome nacional e internacional financiam e fomentam pesquisas na área com bastante frequência (Nomura, 2010; Castello, 2010; Silva, 1978).

Há algumas décadas, o Rio Grande do Norte, acompanhando a tendência nacional reconhece o potencial econômico, social e natural das áreas adjacentes a plataforma continental brasileira (4,5 milhões de quilômetros quadrados) onde o aproveitamento de seus recursos naturais é de total soberania nacional (Souza, 2010). Em grande parte, os benefícios econômico-sociais implicam na geração de renda e satisfação pessoal dos usuários que procuram os atrativos turísticos do **estado. O que não é muito notável pelos “empreendedores norterio-grandenses”** é um pequeno detalhe relativamente negligenciado: toda grade articulada de fatores econômicos e sociais estão sobrepostos, cimentados na estrutura e funcionamento equilibrado dos ambientes costeiros, destacando a grande importância dos serviços ambientais prestados pelos belíssimos campos de dunas móveis, foco do presente estudo acadêmico (Lima, 2010; Souza, 2010; Rosseti, 2008).

O potencial eólico dos campos de dunas móveis inseriu o RN no cenário nacional, como um dos exemplos promissores no uso de energia limpa. A geração de energia promovida pela força do vento dos Parques Eólicos se deve principalmente, as condições climáticas privilegiadas de ventos fortes e posicionamento geográfico estratégico.

Na perspectiva de monitoramento das dunas, o ambiente estudado se caracteriza pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, isso implica diretamente na presença de grande diversidade de feições geológicas, geomorfológicas e abundância de paisagens naturais (Villwock, 2005). Técnicas de sensoriamento remoto são comumente utilizadas para este tipo de pesquisa. O mapeamento do deslocamento das dunas torna-se viável pela comparação de



imagens coletadas em series temporais, viabilizando com isso o reconhecimento dos padrões espaciais apresentados no tempo e no espaço (escala definida), além da quantificação das alterações encontradas (Florenzano, 2008).

### **1.2. Justificativa**

A noção exata da distribuição e da área ocupada por uma duna, pela vegetação natural, por áreas urbanas, pela agricultura ou pelo solo exposto, bem como informações sobre a dimensão de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos tomadores de decisões a nível municipal, estadual e federal. Existe uma crescente busca pelas atualizações dos registros de uso do solo a fim de avaliar perspectivas futuras em relação às possíveis mudanças. Dentro do contexto, a ciência do sensoriamento remoto (SR) constitui uma técnica de extrema validade, pois permite em sutil espaço de tempo obter diversas informações temporais, espaciais e espectrais (Pacheco, 2000).

Com base na análise de imagens de satélite, o estudo da evolução temporal dos campos de dunas móveis surge como uma ferramenta importantíssima para discernir as modificações impostas ao meio ambiente (Rosseti, 2008). Onde a conservação e preservação dos campos de dunas passam diretamente pelo entendimento de como esses ecossistemas naturais tão sensíveis, evoluem ao longo de uma escala temporal e espacial bem definida. Outro fator importante está associado à redução de custo com mapeamento, o somatório das técnicas de processamento de imagens com esforço de campo acelera a detecção de mudanças ambientais e geológicas (Florenzano, 2008).

Desta forma, nota-se a importância de viabilizar estudos e disseminar pesquisas na perspectiva de verificar o que está acontecendo com o uso e ocupação do solo contemporâneo, sob o ponto de vista da manutenção da qualidade dos serviços ambientais e benefícios econômico-sociais que as dunas prestam à futura e atual geração.

### **1.3. Hipótese de Trabalho**

O mosaico da paisagem que compõe os campos de dunas móveis sugere um cenário dinâmico de mudanças nos arranjos espaciais e temporais, com alterações significativas na geometria da cobertura sedimentar superficial.



# Capítulo 2



## **II. Objetivos:**

### **2.1. Objetivo Geral**

Cartografar a zona costeira emersa referente ao litoral oriental do Rio Grande do Norte, sob ponto de vista da evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, aí incluídos sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas (SIG).

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Adquirir, analisar e interpretar de produtos de sensores remotos contidos nos limites da Folha Touros;
- Elaborar um mapa geológico da escala de 1:100.000;
- Identificar, comparar e quantificar a evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis em dezenove anos (1988 a 2007);
- Mapear a cobertura do solo no entorno dos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajá entre 1970 e 2006;



# Capítulo 3



### III. Fundamentação Teórica:

#### 3.1. Dunas

São acumulações de sedimentos movidos pela força e competência do vento. Elas atuam como uma barreira natural para ondas altas e ventos fortes, além de ter papel fundamental no constante fornecimento de sedimentos para a praia. A presença dos campos de dunas móveis é uma manifestação visível de um ecossistema costeiro altamente dinâmico espacialmente e temporalmente que abriga inúmeras espécies endêmicas destes ambientes (Carter et al. 1990).

Apesar das peculiaridades em função de gênese e forma, admite-se no presente estudo, que todas as diversas terminologias usadas para classificar os inúmeros depósitos eólicos em movimento devem ser apreciadas na categoria única: duna móvel. Isto porque, para o objetivo geral proposto condicionado ao mapeamento temático, estas dunas ainda sustentam uma dinâmica temporal e espacial significativa. Por isso, seja uma duna não-vegetada, duna livre, duna ativa, campo de duna móvel, duna de areia, barcana, parabólica, etc., enfim, o que importa nesta pesquisa em termos de nomenclatura, é que estas acumulações de sedimentos, são corpos móveis que continuam migrando ao longo do tempo e alterando sua forma.

##### 3.1.1. Formação das Dunas

Dunas costeiras têm distribuição vasta ao longo de praticamente toda costa brasileira. Parte dos sedimentos depositados nas praias oriundos das correntes marítimas litorâneas (maré alta) são transportados para as regiões mais elevadas das praias e conseqüentemente ao serem acumuladas formam dunas frontais que potencialmente funcionam como fonte de sedimentos para dunas interiores (Carter, 1988).

Como regra geral, a migração ou estabilização de um campo de duna móvel está estreitamente associada à competência do vento e suprimento de sedimento disponível. No litoral oriental brasileiro os ventos que favorecem diretamente os processos de formação dos campos de dunas da região, são os ventos alísios. Seguindo a costa do Brasil da Bahia ao Maranhão, a disposição espacial dos campos de dunas representa a cobertura da paisagem que conecta todo trecho desse litoral. Porém, esse tipo de formação eólica é bem mais frequente em regiões onde ocorrem pelo menos quatro meses seguidos de estiagem durante o ano (Giannini et al. 2005; Rosseti, 2008).

Estudos temporais, a partir de fotografias aéreas e imagens de satélite estabelecem que, possivelmente os campos de dunas desenvolvidos no Nordeste (NE) possuem um caráter sazonal em função dos regimes de precipitação. Fisicamente, deve-se perceber que um alto grau de umidade em sedimentos é inversamente proporcional a capacidade que o grão de areia tem de migrar. Isto implica dizer que a estrutura e formação de um campo de duna desses são

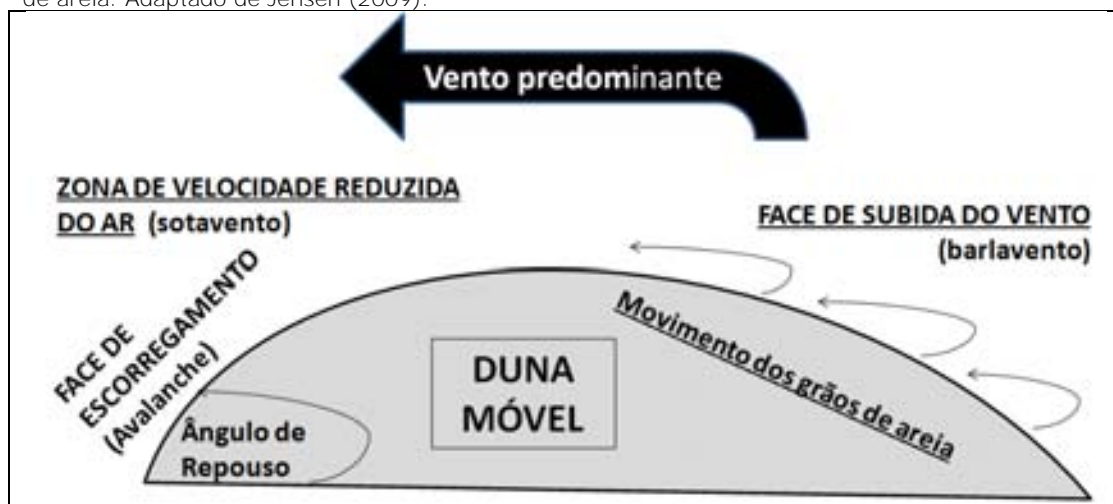


controladas, provavelmente, por mudanças na precipitação atmosférica que por sua vez é influenciada pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Geralmente as médias mais baixas de velocidade do vento ocorrem no período em que as médias de precipitação estão elevadas, ou seja, quando chove a região da praia que alimenta as dunas interiores com sedimento está saturada, os sedimentos finos que deveriam ser removidos da praia para as dunas são impedidos de migrar pela ação do vento, devido umidade. Em contra partida, quando as chuvas cessam, a velocidade dos ventos aumenta, são condições suficientes para que parte representativa da areia fina que está sobre a praia seja depositada nos campos de dunas adjacentes pela força e competência do vento. Este padrão climático natural de aporte sedimentar ocorre no instante que a ZCIT se afasta da linha de costa (LEC, 2009).

Com já foi dito, as dunas costeiras se formam de areia marinha liberada para a praia pelas ondas, e da praia para a costa adentro. Outro processo físico que está associado à formação dos campos de dunas, novamente passa pelo entendimento da presença dos sedimentos livres na face de praia. Em geral quando o sedimento é exposto ao ar, quando seca é prontamente removido pelo vento. Certamente, uma região favorecida por elevadas amplitudes de maré, potencializam o aporte de sedimentos para dunas frontais e ativas interiores. Nestas condições, uma grande quantidade de sedimentos presentes na superfície exposta da praia, obviamente seca, é conduzida pelo vento efetivo, condicionando assim a dinâmica de formação dos campos de dunas adjacentes (Shermam & Hotta, 1990). A figura (3.1) sintetiza as características gerais de uma duna móvel em processo de migração e formação.

Figura 3.1. Formação de uma duna móvel em função da direção do vento e movimentos dos grãos de areia. Adaptado de Jensen (2009).



Em localização geográfica com ventos predominantes em única direção e variações morfológicas semelhantes a do estudo aqui apresentado, mas na região nordeste da Austrália, dunas costeiras parabólicas complexas foram cuidadosamente mapeadas e classificadas em função da morfologia (Pye, 1990). Neste trabalho, o acúmulo de sedimentos eólicos característicos na formação do

campo de duna, é definido, principalmente; pelo suprimento de areia, distribuição e tamanho do grão, variabilidade direcional e distribuição da velocidade do vento. O mesmo autor considera como parâmetros seculares para o desenvolvimento da duna; a cobertura vegetal e características de crescimento, a topografia do terreno adjacente, as mudanças climáticas, variações no nível do mar, além dos padrões de tectônica regional presente na área.

### 3.1.2. **Classificação das Dunas**

Proposto por Barreto et. al.(2004), as dunas podem ser classificadas em duas formas principais; dunas inativas e dunas ativas. Elas se desenvolvem na presença de vegetação (fixas) e aquelas envolvidas no movimento livre de areia (móveis ou ativas) na direção a sotavento (Hesp & Thom, 1990). Critérios morfológicos, sedimentológicos e biológicos (vegetação) são fundamentais para distinção entre os depósitos eólicos, sendo a mobilidade o indicador mais significativo da transgressão (termo que conota migração ativa) em direção ao continente, que por sua vez é fortemente influenciado pela presença da vegetação. Evidentemente, a migração de um campo de duna ocorre de fato quando o suprimento de sedimento é suficiente e a força do vento é efetiva, capaz de transportar os grãos de areia. (Barbosa, 1997; Barreto et al. 2004; Claudino-Sales, 2002; Martin et al. 1997).

Dunas são classificadas na literatura de acordo com as suas características morfológicas e morfodinâmicas, segundo Mckee (1979) e Hunter et al. (1983) estas são as classificações mais importantes. Como o foco do presente estudo é o mapeamento temático temporal, no sentido de avaliar a disposição espacial destas formas eólicas na superfície terrestre, levou-se em conta que apenas a classificação morfológica era suficiente para representar os diferentes tipos de dunas.

A morfologia das dunas é fundamentada em sua geometria e depende basicamente de quatro fatores:

- ✓ Morfologia da praia e dinâmica da linha de costa - são parâmetros que podem influenciar as taxas de suprimento de areia;
- ✓ Características dos ventos – distribuição da intensidade, frequência e variabilidade direcional;
- ✓ Extensão e crescimento da cobertura vegetal – barreira fisiográfica;
- ✓ Ação antrópica – impactos diretos e indiretos na cobertura do solo.

Usando-se este critério as dunas podem ser classificadas da seguinte maneira:

#### 3.1.2.1. **Dunas Parabólicas (Parabolic Dunes)**

Tomando como referencial a direção do vento, fazendo analogia simplista, pode ser entendida como um vetor que tenta deslocar uma porção de areia. Ao invadir, "rastros" de areia são deixados ao longo da migração (Fig.3.2).



Figura 3.2 - Campo de duna móvel em Maracajaú/ RN.

Polígonos cinza: morfologia básica de uma duna parabólica em função da direção do vento. Adaptado: Pye e Tsoar, (1990). As linhas e o quadrado vermelho indicam a localização da porção frontal (sotavento) em campo de duna móvel em Maracajaú/ RN. Foto do autor (2009)



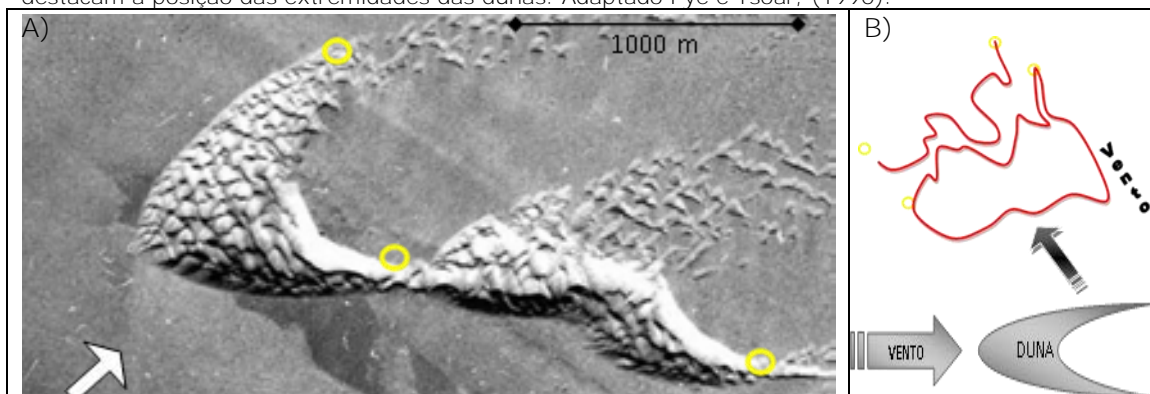
Os rastros de sedimentos, geralmente denominados de alças arenosas, são representados por braços simétricos ou assimétricos estendidos na direção do mar, sempre em sentido oposto ao vento. O formato em "parabólica" é marcado pelos lobos deposicionais em forma de "v" ou "u" (Pye e Tsoar, 1990). Este tipo de formação ocorre com maior frequência no litoral oriental do RN.

### 3.1.2.2 Dunas Barcanas (Barchan Dunes)

Possui geometria em forma de "meia lua", são geralmente isoladas. Voltando a analogia do bloco de sedimentos, ao contrário das dunas parabólicas, neste tipo de duna móvel, as extremidades (alças) são deslocadas, não a parte central (Fig.3.3).

Figura 3.3 – A) morfologia duna barcana. A seta branca ilustra sentido do vento predominante. Campo de duna gigante situado no Marrocos 28° 02' N/ 12° 11' W. Modificado de Andreotti et al. (2009).

– B) Esquema: polígonos e linhas vermelhas marcam os limites da morfologia. Os círculos amarelos destacam a posição das extremidades das dunas. Adaptado Pye e Tsoar, (1990).



Neste caso, o rastro de sedimentos é deixado pela porção central da duna e as alças sempre se desenvolvem no mesmo sentido do vento, que é o agente majoritário "geomodelador" da forma. Os complexos barcanoides predominam na porção mais a norte do RN, litoral setentrional.

#### 3.1.2.3. ***Dunas de sombra (Shadow Dunes)***

São formadas a partir de um contorno de um obstáculo (vegetação ou não), por rajadas de vento geralmente secundários, que se unem novamente dando origem ao acúmulo de areia em forma piramidal (Pye e Tsoar, 1990).

#### 3.1.2.4. ***Dunas em Domos (Dome Dunes)***

Formadas em função de acumulações semicirculares e circulares, em planta, apresentando crista plana. Em geral de pequeno porte e quando formadas na região costeira chegam altura de um metro com diâmetro inferior a 14 metros (Mckee e Bigarella, 1972). Montes ovais ou circulares que geralmente não apresentam face de escorregamento, não apresentam a zona de avalanche na porção a sotavento.

#### 3.1.2.5. ***Dunas de Blowouts (Blowout Dunes)***

São depressões formadas pela força erosiva do vento, reconhecidas pela forma de pires ou calha. Sem duvida é uma feição erosiva, pois a zona ou bacia de deflação marcante deste tipo de duna é um testemunho visível da competência do vento.

Figura 3.4 – A) Seta de cor branca indicando sentido do vento na praia de Zumbi/RN. B) Fotografia área/2006 numa porção da costa em Zumbi/ RN. Circulo branco: Blowout em campo de duna móvel. Foto do autor.



É bem peculiar dos ecossistemas dunares do litoral do RN, que o mosaico da paisagem seja dominado espacialmente por duas feições eólicas: as dunas vegetadas e as livres da vegetação (dunas móveis). Entre os municípios de Touros e Maracajaú/RN, a paisagem pode ser considerada como um mosaico heterogêneo de coberturas do solo, geralmente conectada pelos extensos cordões dunares **ativos, onde as dunas vegetadas representam pequenas "manchas de vegetação", inseridas no mosaico. Neste sentido os "Blowouts", como mostra a figura 3.4,** podem ser considerados como indicadores naturais do caminho preferencial do vento, notavelmente influenciados pela cobertura vegetal das dunas fixas.

#### 3.1.2.6. ***Dunas Reversas (Reversing Dunes)***

Trata-se de dunas formadas a partir da evolução de barcanas, relacionadas à mudanças sazonais no sentido do vento que atua diretamente no transporte sedimentar em direções opostas (Thomas, 1997).

#### 3.1.2.7. ***Dunas Estrelas (Star Dunes)***

O que visivelmente marca a geomorfologia de uma duna estrela é a presença de três ou mais braços radiais originados secundariamente pela crista central (Fig.3.5). Este tipo de formação eólica é mais comum em regiões desérticas, no entanto pode ser encontrado na costa sudeste da África (Mclachlan, et al., 1987).

Figura 3.5 - morfologia típica de uma duna estrela. A seta branca ilustra sentido do vento predominante. Crista central destacada pelo círculo vermelho. Campo de duna situado em Mauritania 18° 09' N/ 15° 29' W. Modificado de Andreotti et al. (2009).



#### 3.1.2.8. ***Bacia de deflação***

A heterogeneidade espacial atribuída às modificações temporais dos campos de dunas eólicas pode sugerir quais formas marcam as constantes alterações de cenário, ou seja, determinadas formações encontradas ao longos dos campos de duna, representam fator de mudança. Uma das substituições que eventualmente ocorre é percebida quando algum fenômeno de ordem natural ou

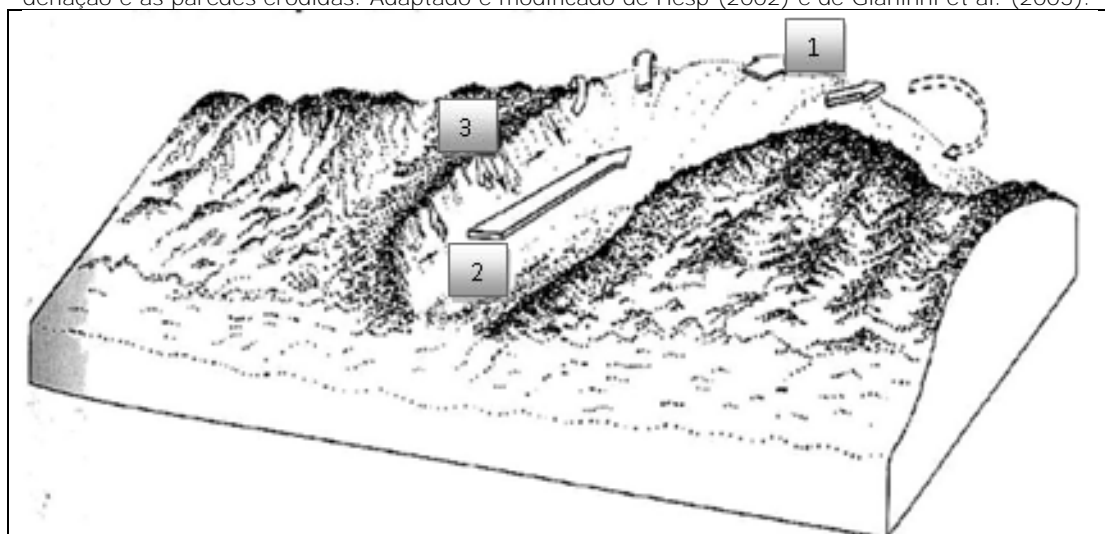
perturbação antrópica interrompe o fornecimento de sedimentos que alimentam a duna. Gradativamente, ela pode dar lugar as zonas ou bacias de deflação. São feições eólicas associadas em geral a zonas vegetadas submetidas à deflação (Fig. 3.6).

Figura 3.6 - Foto da bacia de deflação região próxima a praia de Pititinga, município de Rio do Fogo/ RN. Arquivo pessoal – foto Eduardo Q. Lima



Estas feições geomorfológicas são geradas pelo vento através da retirada e redeposição local de sedimentos arenosos, em geral, constituídas por uma bacia de deflação, paredes laterais erosivas e um lóbulo frontal de deposição a sotavento, **em forma de "U", com faces de avalanche** (Fig. 3.7).

Figura 3.7 - Esquema: Bacia de deflação do tipo alongada. As setas brancas indicam sentido do vento. Os números 1, 2, 3, respectivamente, representam; o lóbulo deposicional, a bacia de deflação e as paredes erodidas. Adaptado e modificado de Hesp (2002) e de Gianinni et al. (2005).



### **3.2. Sensoriamento Remoto aplicado ao mapeamento de dunas e áreas costeiras**

O desenvolvimento de tecnologias vinculado a linhas de pesquisa em várias universidades do planeta são aplicadas frequentemente ao monitoramento de dunas costeiras. São projetos que estimulam a produtividade acadêmica distribuída heterogeneamente em diferentes áreas do conhecimento científico. De forma abrangente, os trabalhos discutem monitoramento da fauna e flora; bases geomorfológicas para desenvolvimento de dunas; modelagem ambiental; evolução em séries temporais; uso de produtos de sensoriamento remoto; datações por termoluminescência e carbono quatorze, além dos inúmeros títulos voltados para mapeamento temático (Lubke, 2004; Grigio, 2008; Barreto et. al. 2004; Saye et. al. 2005; Hesp, 2004).

O ambiente costeiro se caracteriza pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, isso implica diretamente na presença de grande diversidade de feições geológicas e abundância de paisagens naturais. A grande dinâmica encontrada nessas áreas litorâneas surge da complexa interação entre os sistemas deposicionais (aporte de sedimento) e os fatores erosivos de ordem natural ou de natureza antrópica, respectivamente, como por exemplo; nas correntes litorâneas, em correntes de marés, até mesmo pela ocupação em áreas de dunas fortemente transgressivas (Florenzano, 2008; Hesp, 2002). As dunas, são unidades de cobertura do solo ambientalmente sensíveis aos fatores supracitados e geralmente, representam unidades da paisagem costeira tipicamente identificada pela sua forma em superfície. São elevações de areias eólicas bem definidas, que existem independentemente da topografia adjacente (Bagnold, 1941).

Na Índia Iqbaluddim (1997), usando imagens Landsat 5TM composição colorida RGB432, delineou diferentes formas na paisagem, inclusive reconheceu formas geomorfológicas passíveis de mapeamento, consideradas dunas livres ou segundo os autores como depósitos eólicos. Segundo Levin e Ben-Dor (2004), em Israel as dunas costeiras foram monitoradas sob o ponto de vista temporal por meio de fotografias aéreas de 1945 a 1999. Neste trabalho eles expuseram os mecanismos e os fatores ambientais que explicam as mudanças temporais nas dunas. No mapeamento, as diferenças espaciais (avanço ou retração) entre um ano e outro foram vetorizadas, conseqüentemente a quantificação das mudanças na mesma escala espacial e temporal permitiu calcular as taxas de migração dos campos de dunas. Neste mesmo trabalho foi concluído que após os 50 primeiros anos do monitoramento, os campos de dunas móveis apresentaram uma gradativa tendência à estabilização.

Na Austrália, 19 campos de dunas da ilha barreira "Frazer Island" foram mapeados e agrupados quanto ao grau de prioridade de restauração. Agregando uso de imagens, foi possível identificar que os danos negativos e impactos físicos causados às dunas costeiras (sensibilidade à erosão) era reflexo direto das estradas deixas pelo tráfego de veículos (Schlacher e Thompsom, 2008).

A pesquisa envolvendo dunas costeiras, nos últimos anos, está aos poucos se desvinculando da área física-geofísica, além da produção na área da



geomorfologia e sensoriamento remoto, muitas publicações internacionais se fundamentam na ecologia das dunas costeiras; levando em conta a variação dos processos ecológicos no tempo e espaço. No sul da África, trabalhos focados em sucessão e dinâmica da vegetação, introdução de espécies exóticas, riqueza e biodiversidade de espécies em ambientes costeiros classificados como dunas, representam modelos desta demanda crescente (Lubke, 2004). Na Califórnia (EUA), variações espaciais e temporais foram correlacionadas com os padrões de ocorrência e abundância de espécies em dunas de areia (Barrows e Allen, 2010). Em geral, são publicações que possuem em comum mapeamento de campo de duna móvel, contextualizadas em diferentes áreas do conhecimento científico com objetivos gerais variando entre concepções de ordem social, ambiental, geológico, físico ou ecológico.

Na Europa, especificamente no Reino Unido, Bailey & Bristow (2004), quantificaram a proporção da superfície ocupada pelos sedimentos de areia da duna **de "Aberffraw", na ilha de Anglesey. O trabalho de mapeamento consistiu em monitorar a migração (evolução) e vetorizar os polígonos representativos dos limites da duna móvel através da análise visual de uma série temporal de fotografias aéreas.** Nos Estados Unidos, no campo de duna ativo em Napeague, Nova York, a análise de fotografias aéreas permitiu reconhecer as principais alterações espaciais, onde estas foram determinantes para indicar como ocorreu a evolução temporal entre os anos de 1969 e 2004 (Girardi e Davis, 2010).

Segundo Hugenholtz e Wolfe (2008), reativação, crescimento e migração de uma duna de areia pode perfeitamente ser obtida pelo mapeamento e análise sequencial de uma série temporal de produtos imagem de sensoriamento remoto. Com o objetivo geral de avaliar os padrões de disposição espacial e temporal de uma duna transgressiva, Hugenholtz et al. (2009), mapeou regiões na duna que sofreram algum tipo de perda ou acúmulo de sedimentos em função de taxas de **sedimentação e erosão, o trabalho ocorreu na área de estudo denominada "Bigstick Sand Hills", em Saskatchewan, no Canadá.**

Em modelo morfológico de estabilização para dunas, proposto para avaliar a evolução no tempo e espaço, os campos de dunas foram classificados em cinco **estágios "morfo-ecológicos" que variam desde formação até estabilização do campo de duna.** No modelo, os eventos de erosão, aporte e suprimento de areia representam papel fundamental **para construção dos cenários futuros no "ciclo de vida" de uma duna ativa (Hesp, 2002).** Portanto é razoável afirmar que, uma implicação direta é a diminuição da área superficial ocupada pela duna (erosão=efeito negativo) ao contrário do que acontece quando ocorre entrada de sedimento no sistema dunar, o aporte positivo implica potencialmente em ganho de área. No Egito e na fronteira entre o Israel e Egito, produtos imagem da série Landsat 5TM e 7ETM+ foram usados para identificar, avaliar a dinâmica nos campos de dunas móveis. Evidentemente, a comparação dos produtos imagens nas sequências multi-temporais permitiu o mapeamento das alterações no uso e cobertura do solo, nestas regiões de grandes conflitos por direito de território (Levin, N. e Ben-Dor, 2004; Bakr et al. 2010). Segundo Franco et. al. (2008), a migração em direção ao continente é um dos fatores importantes na modificação da paisagem costeira, sendo, portanto, alvo de estudos recentes de evolução



multitemporal, uma vez que tem sido evidenciado constantemente na mídia, em regiões costeiras o avanço das dunas sobre áreas de ocupação urbana.

Percebe-se que boa parte das publicações internacionais vinculadas à cartografia temática, explicam a migração e funcionamento de um campo de duna móvel como produto final do balanço que existe entre a quantidade de sedimento que a duna consegue manter em detrimento do que é erodido, como se fosse uma função linear da força efetiva e competência do vento.

### 3.2.1. Principais estudos no Brasil

Cerca de dois **terços da população mundial vivem “exprimidos” em áreas costeiras**, em superfície terrestre, corresponde a menos do que 15% de ocupação urbana (WTTTC, 1998). No Brasil, em ciências marinhas, existe grande empenho em conhecer o modo e funcionamento dos ambientes costeiros. Nesta busca por conhecimento, as dunas de areia do Brasil, são alvo frequente de produção científica. As primeiras pesquisas ocorreram no sul do país, entretanto, em função dos potenciais geológicos (recursos minerais), energéticos (petróleo; vento) e ecológicos (ocorrência de espécies endêmicas; variações climáticas) fornecidos pelos ecossistemas dunares espalhados praticamente em toda linha de costa, o monitoramento ambiental é fonte constante de estudos de norte a nordeste. São projetos que implicam na conservação e entendimento das variações espaço-temporais de regiões privilegiadas pela presença dos campos de dunas livres.

Checando produtos de sensores remotos da série LANDSAT 7ETM+/5TM associados à interpretação de algumas fotografias aéreas, nove campos de dunas transgressivos do litoral médio na zona costeira do Rio Grande do Sul, foram monitorados em função das suas respostas temporais e alterações morfológicas. Regime de precipitações deriva potencial (DP) do vento e estoque de areia foram analisados para descrever quais agentes podem ter controlado as taxas e médias de migração. De 1948 a 2000, a comparação entre os campos de duna móvel esboçou importantes diferenças específicas para cada campo de duna avaliado. Apesar da quantificação da área não ter sido foco do monitoramento, a análise visual dos produtos imagem ao longo da costa de Torres para região de Mostardas comprovam redução da superfície coberta pelas dunas do Rio Grande do Sul (Martinho et al. 2010).

Segundo Giannini et al.(2005), a ocorrência predominante dos principais campos de dunas transgressivos do Brasil são a costa norte-nordeste, entre o centro leste do Maranhão e o extremo sul do Rio Grande do Norte, a costa Sergipe-Alagoas nas vizinhanças da desembocadura do Rio São Francisco, a costa meridional entre a ilha de Santa Catarina e o extremo sul do Rio Grande do Sul. Nas demais regiões dominam as dunas ativas vegetadas.

Retomando conceito citado em parágrafos anteriores, a estabilização ou migração ativa de uma duna de areia está correlacionada à diferença entre influxo e efluxo da areia depositada (que permanece na duna). O saldo positivo derivado do sedimento que entra menos o que sai é fortemente condicionada pela resistência



ao transporte por influência direta da competência do vento, cobertura vegetal, irregularidades de relevo e chuvas (Giannini, 2005). Considerar variações sazonais, a fim de calibrar a interpretação dos resultados obtidos no processamento de imagens, demonstraram que nos meses de outono-inverno as dunas migram pouco, praticamente estabilizadas, em contra partida nos meses "secos" as taxas de migração são maiores (Tomazelli, 1993).

Eventualmente, sejam por meio de interpretação visual de imagens, medições diretas em campo ou modelagem matemática, as metodologias aplicadas ao monitoramento de dunas ativas na perspectiva de examinar as tendências à migração ou estabilização, possui em comum a confiabilidade de gerar resultados que de fato denotam se o depósito eólico ainda está ativo ou não (Claudino-Sales e Peulvast, 2001; Giannini et al. 2005; Hesp et al. 2005). Em Santa Catarina na região de Imbituba-Laguna a sedimentação e estabilização dos campos de dunas costeiras foram analisadas em relação às mudanças que ocorreram no Quaternário antigo. No sistema barreira de Torres até Tramandaí, outra vez em Santa Catarina, dunas transgressivas foram diferenciadas das dunas frontais e bermas em função das evidências geomorfológicas percebidas em fotografias aéreas e constatações obtidas pelas suas respectivas idades/gerações.

Dunas ativas móveis ou semifixas no litoral do Ceará foram assim classificadas devido à participação da vegetação nos processos de sedimentação (Tomazelli, 1993). Tatumi et al. (2003), no estado da Paraíba associou as idades relativas das dunas móveis e rochas de praia, através do método de datação por termoluminescência. Respectivamente, o primeiro trabalho, ressalta a participação da cobertura vegetal como barreira natural responsável pela retração na velocidade de migração da duna. A segunda citação faz referência a evolução temporal destes depósitos eólicos num contexto geológicos de milhões de anos, onde o avanço dos campos de dunas em direção ao continente possivelmente está correlacionado com o aumento do nível relativo do mar.

No Pantanal Mato-Grossense, Klammer (1982) observou a disposição espacial de dunas inseridas num mosaico complexo de lagoas interdunares. Os efeitos de sombreamento gerados pelo imageamento ativo do radar usado facilitaram a identificação e diferenciação de lagoas e dunas fixas. Na planície costeira do Rio São Francisco, Barbosa (1997), inferiu que os cordões dunares ali presentes se desenvolveram plenamente após um período de 200 e 400 anos.

Peculiar de um sistema em equilíbrio dinâmico, as dunas eólicas ativas e a praia mutuamente relacionam-se em trocas constantes de matéria e energia. Qualquer perturbação imposta pela ação humana, certamente, que altere esse estado "harmônico" natural implicará em respostas difíceis de controlar e muitas vezes indesejáveis (Lovelock, 2006; Giannini et al., 2005). Em dunas de areia da região de Mataraca na costa da Paraíba, encontra-se um bom exemplo da exploração de minerais pesados com valor econômico. Entre as maiores reservas minerais de titânio, o depósito de Mataraca é reconhecido como uma das poucas iniciativas de extração mineral associado a projetos de recuperação ambiental (DNPM, 1984). Entretanto, a extração de areia de campos de dunas móveis para construção civil ainda é presumida em muitas localidades do Brasil.



Verificações em campo juntamente com análise, processamento e comparação de fotos aéreas, evidenciam claramente que o campo de duna ativo de **Ibiraquera em Imbituba (SC), apresenta uma "fragmentação espacial"**; indicando que a perda na cobertura sedimentar original implicou no aumento da área fixada por vegetação, ou seja, a fonte de grãos de areia que mantinham a duna ativa e migrando, foi interrompida. Em praticamente 50 anos, mudanças dos padrões espaciais são fortes indicadores que a falta de renovação no aporte sedimentar pode estar em parte relacionado com a mineração (Giannini et al., 2005).

### 3.2.2. Estudos no Rio Grande do Norte

O estado Rio Grande do Norte (RN) em parcerias com órgãos ambientais, universidades e institutos federais, incentiva e financia pesquisa de monitoramento ambiental em zonas costeiras de interesse ecológico ou econômico. Na perspectiva do monitoramento e evolução das dunas em áreas costeiras, alguns projetos acadêmicos voltados para atender demandas de gestão de território são bastante representativos da realidade estadual com significativa repercussão na comunidade científica do Brasil e mundo. Inúmeras publicações conduzidas pelo Departamento de Geologia, Ecologia, Geografia, Turismo (Amaral, 2003; Amaral e Bezzera, 2006; Jesus et al. 2006; Moura Lima et al. 2010, por exemplo), representam fontes constantes de consultas, comumente usadas pelos tomadores de decisões e poder jurídico para embasar discussões acerca da manutenção dos ecossistemas dunares e ordenação nos usos do solo.

Usos de imagens de alta resolução espacial foram fundamentais e eficientes para mapeamento em nível de detalhe dos campos de dunas móveis e ocupação do solo do litoral oriental no RN. A partir de produtos de sensores remotos da serie Landsat (TM e ETM+) entre os anos de 1969 e 1999 apontaram redução da área de cobertura ocupada por dunas livres de vegetação, em 43%, fato ocorrido em apenas 30 anos (França et al. 2006). Desta vez interpretando fotografias aéreas, na mesma região, Amaral & Gonçalves (2006) conduziram trabalho pioneiro no mapeamento de recifes de corais entre os municípios de Maxaramguape e Rio do Fogo. A interpretação de imagens Landsat, fotografias aéreas e imagens de radar forneceram evidências morfológicas suficientes para considerar que os depósitos eólicos ainda continuam ativos e foram reconhecidos dois tipos principais de dunas; as parabólicas vegetadas e não vegetadas, ou podendo ser consideradas, como livres e fixas (Amaral, 2000). Questionou-se neste mesmo trabalho, qual a interferência da quantidade e disposição de lagoas interdunares nos fatores que levam a formação das dunas. Em conformidade com citações anteriores, ao definir uma duna, o autor afirma que o processo de formação é condicionado principalmente pelo suprimento de areia, velocidade dos ventos, tipo de sedimento, umidade, marés e correntes.

Barreto et al. (2004), apresentou carta temática geológica-geomorfológica para parte do litoral do estado do RN, com destaque para os depósitos eólicos. Fotografias aéreas e imagens de satélite em escala de 1:70.000 e 1:100.000, respectivamente, para efeito de mapeamento possibilitaram a distinção de quatro



tipos de dunas eólicas. Em função da estabilização, somente um ainda continua ativo, segundo classificação do autor, os últimos três restantes são campos de dunas inativos. Na perspectiva de elucidar o que ocorre com a evolução da região costeira, alguns artigos, enfatizam a necessidade de complementar a análise visual de produtos de sensoriamento remoto às perspectivas de mudanças no nível relativo do mar através de métodos de datações (Tatumi et al. 2003).

Na região de Galinhos, litoral setentrional do RN, perfis de praia foram aplicados para avaliar temporalmente as variações na linha de costa e suas implicações para evolução costeira da área emersa (Lima et al. 2006; Vital, 2008). Oscilações do nível relativo do mar são observadas desde África do Sul a Austrália. Estas variações são predominantemente associadas a mudanças climáticas ou eventos tectônicos. Para costa nordeste do RN, dados de campo sugerem que a nível local, as taxas de variação do nível relativo do mar (NRM) podem ter sido profundamente influenciadas pelos padrões de vento/onda que chegam a costa (Bezerra et al. 2005).

Então, qual a relação que pode existir entre alterações do NRM e formação das dunas? Erosão da costa, em condições de NRM baixo, pode impulsionar aporte **de sedimentos "incoesos" (livres) disponibilizados como fonte de suprimento para dunas móveis**. Nas falésias, a erosão mais efetiva em rochas-fonte da Formação Barreiras, explicaria a presença de dunas de coloração vermelhada, provavelmente dunas ativas mais antigas (Barreto et al. 2004; Bezerra et al. 2005).

Em qualquer trabalho acadêmico, que tenha por objetivo mapear evolução de dunas ativas sob a ótica do monitoramento costeiro, utilizando modernas técnicas de sensoriamento remoto e processamento de imagens, em função das mudanças nos padrões espaço-temporais (Souto et al. 2004), não deve desconsiderar que os 2/3 da população mundial e que as 5 das 9 áreas metropolitanas brasileiras mais populosas intensificam e modificam constantemente o mosaico da paisagem costeira nacional. A presença maciça da população na figura do homem, segundo Suguio (2010), constitui a razão da existência do risco, já que os fenômenos naturais compõem eventos normais e frequentemente previsíveis.

Em Amaro e Araújo (2008), este fato foi mencionado. O avanço da linha de costa na direção do continente pode estar também relacionado ao atual quadro de ocupação que tem ocorrido de modo desordenado, e devem ter interferido no decorrer das últimas quatro décadas, no fluxo sedimentar que alimenta a interface costeira e dunas ativas presentes entre os municípios de Grossos e Tibau/RN. No município de Guamaré-RN, a integração de imagens óticas na perspectiva multitemporal apresentou evidências e localizou áreas vulneráveis ou sensíveis ambientalmente. A dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo, entre os anos de 1988 a 2004, novamente sugerem a perturbação antrópica como agente modificador da paisagem (Grigrio et al., 2009).

No litoral setentrional do estado do RN, as categorias de cobertura da terra foram avaliadas temporalmente através de imagens SPOT 4. Os resultados do mapeamento evidenciaram intensa dinâmica de mudanças nos arranjos espaciais



das unidades de uso. Entre as classes mapeadas, as dunas móveis chamam atenção, porque implicaram em aumento de área ocupada entre 1996 e 2005 (Duarte, et al., 2009).

Uma série de trabalhos aplicados ao município de Guamaré-RN, as áreas de manguezais do estuário Potengi-Curimatau e região conhecida como **"Ponta do Tubarão"** (Macau- RN) avaliaram o uso e ocupação do solo, variações na linha de costa, vulnerabilidade ambiental, risco a derrame de óleo, evolução de campos de dunas ativos e erosão costeira, sob o ponto de vista da comparação de produtos de SR em sequencias temporais. Em todos os artigos, a participação antrópica foi associada aos muitos conflitos gerados em decorrência da ocupação desordenada. Talvez se os processos geomorfológicos e ecológicos que controlam o funcionamento dos campos de dunas e praias fossem melhores conhecidos, os impactos negativos aos ambientes costeiros seriam minimizados (Amaral e Bezerra, 2006; Souto et al. 2004; Grigio, A.M. 2003; Grigio, A.M. 2008; Suguio, 2010).



### 3.3. Sensoriamento Remoto: a arte de manipular dados e obter informações

Objetivamente, o Sensoriamento (obter dados) Remoto (distância), permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação da energia refletida ou emitida pela Terra (Florenzano, 2002). Já no processamento digital de imagens se manipula as imagens dos sensores ativos e **passivos com o fim de "extrair" ou realçar na imagem o alvo foco do estudo** (Crósta, 1992).

A forma de produzir, interpretar, adquirir e processar dados de sensoriamento remoto tem evoluído rapidamente nos últimos anos. Os avanços variam desde aquisição gratuita, melhorias nas resoluções (espacial; temporal; radiométrica) até minimização de imagens produzidas com ruídos (defeitos das imagens que geram perda de informação espacial). Além do aprimoramento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e seus aplicativos, didaticamente desenvolvidos para manipulação de dados vetoriais e raster. Estes progressos implicam em redução de gastos, principalmente para fins de monitoramento em mudanças temporais. O que chama atenção no progresso é que praticamente toda engenharia mecânica (plataformas dos satélites) e computacional (sensores dos satélites) estão fundamentadas no entendimento de conceitos geológicos, físicos, químicos, ambientais do sistema Terra e, foram desenvolvidos a partir da visão humana, da eficiência que o olho humano tem em captar, processar e gerar imagens (Crósta, 1992; Sulsofot, 2003b; Jensen, 1996).

Normalmente, mapeamento para uso do solo e evolução na perspectiva temporal, tematicamente ilustram modificações espaciais que ocorreram a muitos anos atrás ou no passado recente. Eventualmente, avanços nas técnicas de SR, desenvolvimento de softwares aplicados à modelagem viabilizam a construção de cenários futuros, admitindo obviamente, que são apenas tendências vinculadas a realidade contemporânea (Soares-Filho, et al. 2002). Neste sentido, o baixo curso do rio Piranhas-Assu (RN) foi mapeando quanto ao uso do solo e interpretado temporalmente com base nos conceitos e metodologias dos autômatos celulares. Este modelo permitiu gerar simulações dos padrões espaciais para os anos 2009, 2014, 2019 e 2024 (Grigio, et al., 2009). As perspectivas simuladas, demonstraram que as preocupações quanto aos prejuízos ambientais nada animadores são pertinentes e devem ser considerados pelos órgãos de gestão do solo.

As iniciativas mais ousadas em termos de previsões ambientais estão associadas às projeções de cenários futuros. A incerteza inerente à previsibilidade condicionam simulações à modelagem matemática fortemente ajustada, ou seja, para que o modelo espacial seja aceito suas funções são rigorosamente revisadas pela comunidade científica, antes de se tornarem publicações oficiais. A modelagem **representa a "ponte de ligação" entre a subjetividade dos fenômenos ambientais/ ecológicos e a matemática como ciência exata.**

Modelo de regressão logística em análises espaciais vem sendo cada vez mais usados em SIG (sistemas de informações geográficas), este método estuda a relação entre a variável resposta e uma ou mais variáveis independentes. Uma das



vantagens implica na obtenção de probabilidades e padrões que podem ser respectivamente, especializados e visualizados, após aplicação de um filtro. A dificuldade em obter dados confiáveis e não viciados pode representar uma desvantagem para alimentação do modelo espacial (Ventocinque, 2007).

Fomentando opinião sobre inovações metodológicas, no processamento de imagens digitais, aplicar a análise dos alvos em sistemas de interpretação diferentes do RGB (red, green, blue), eventualmente, maximizam a qualidade do mapeamento. A cor potencializa a capacidade do usuário em reconhecer feições ou superfícies de cobertura do solo, principalmente porque a cor domina o sistema visual humano. Outros sistemas de interpretação de imagens podem representar eficientes ferramentas complementares à confecção de mapas que normalmente são feitos. Manipular imagens no espaço IHS, por exemplo, implica na geração de imagens coloridas segundo as propriedades da cor; matiz, saturação e intensidade (hue, saturation, intensity), são atributos que vão além das características espectrais propriamente ditas (Tabosa, et al. 2007). Na área de estudo denominada limites da Folha Touros (SB 25 VCII), em Fernandes e Amaral (2010), foi gerado um novo produto imagem com as mesmas diferenciações de cores do RGB, no entanto, para o alvo de estudo, a grande vantagem de manipular a imagem no espaço IHS foi o realce dos depósitos eólicos não vegetados, este tratamento permitiu observar visualmente algumas diferenças geomorfológicas que antes do tratamento não eram notadas.

No processamento digital de imagens é feita a análise e a manipulação das imagens digitais, cuja finalidade é identificar, extrair informações e transformar a imagem de tal modo que a informação seja mais facilmente discernível por um analista (Crósta, 1992). Tratamento em função das cores (RGB) e suas propriedades (IHS), aumento de contraste (transformadas), aplicação de filtros, análise por principais componentes (PCs), classificação estatística supervisionada ou não-supervisionada, são procedimentos metodológicos sistemáticos que auxiliam a identificação e realce do alvo. Espera-se que a utilização do conjunto de técnicas ou de pelo menos uma destas, funcionem como indicadores da qualidade do processamento. Importante notar que o efeito potencial da qualidade é completamente visual, o que é visto na tela do computador pelo usuário irá revelar se as imagens estão prontas para confecção da representação temática. Em algumas situações o processamento é tão refinado, que o produto imagem gerado dispensa a produção do mapa (carta imagem).

Possivelmente pela fácil aplicação, um dos métodos mais usados é a classificação supervisionada. De acordo com a resposta espectral, para cada valor numérico associado à reflexão de um pixel são identificados os tipos de coberturas da superfície terrestre, que podem ilustrar de forma temática a cobertura vegetal, dunas de areia, solo, águas continentais, rocha exposta, entre outros. **Consiste basicamente em "marcar" na paisagem os locais onde se pode definir regiões de interesse, este procedimento diz respeito a associar cada pixel (níveis de cinza) de uma imagem a um "rótulo". Com isso é possível caracterizar espectralmente coberturas existentes na paisagem mediante os dados orbitais (Jensen, 1996; Sulsoft, 2003b).**



Quando a etapa do PDI é precisa, representativa do real, uma opção segura de classificação é a supervisionada do tipo Máxima verossimilhança - **"maximum likelihood classification" (MLC), que leva em conta a ponderação das distâncias médias.** Nessa classificação, os conjuntos de treinamento devem ser rigorosamente bem definidos em pontos representativos em todas as categorias de coberturas. Também é necessário um número razoavelmente elevado para cada conjunto de treinamento ou ROI's (Regions of Interest), sendo o ideal acima de uma centena (Crósta, 1992; Jensen, 1996). Devido à natureza estatística das classificações supervisionadas, vale salientar que o método MaxVer é passível de enganos.

Com objetivo de reduzir imprecisões Liu et al. (2011), testaram a melhoria da classificação supervisionada Max Ver introduzindo no modelo as propriedades da **método "Fuzzy Topology". Segundo autores esta alteração implicou no aumento do grau de acurácia para mapeamento de cobertura do solo.** Janke (2002) em mapeamento de uso e ocupação do solo classificou imagens do sensor Landsat 5TM pelo método MLC para os anos de 84 e 98. A quantificação e alteração nos padrões espaciais se deram pela análise dos ganhos e perdas da área coberta pelo campo **de duna móvel do "Great Sand Dunes National Monument" (37°46.5´N, 105° 32.5´W).** Mais uma vez os resultados explicam uma tendência a estabilização e perda significativa em quantidade de sedimentos de areia presentes no campo de duna móvel. Evidentemente, pelas assinaturas espectrais específicas, vegetação e sedimentos de areia quartzosa sobressaem em qualquer mosaico de paisagens heterogêneas. Por esta razão, após processamento (PDI), para estes dois alvos algumas metodologias de classificação supervisionada ou não-supervisionada geram produtos temáticos similares, confiáveis e precisos do ponto de vista do ordenamento territorial (Belluco et al. 2006).

Considerar a idéia de que uma cena de satélite pode ser vista como uma área heterogênea composta por uma variedade de diferentes unidades geoambientais ou como agrupamento de ecossistemas de tipos diferentes é incorporar o conceito do mosaico da paisagem à análise espacial (Odum e Barret, 2007).

Como ciência recente, na perspectiva de paisagem, a análise espacial visando a evolução temporal apresenta-se basicamente de duas formas; a primeira relacionada as unidades que compõem o mosaico, ou seja, que unidades geológicas ou ambientais compõem a paisagem de estudo? A segunda pode ser interpretada pela maneira que estas unidades ocupam o espaço, por exemplo, como os campos de dunas livres estão conectados e qual a causa dessa ligação. Segundo Metzger (2006), os parâmetros de composição de uma imagem estimam quais unidades estão presentes na paisagem, a riqueza dessas unidades e a área ocupada por elas (cobertura que domina a paisagem) em contrapartida, os parâmetros de disposição quantificam os arranjos espaciais dessas coberturas (unidades) que compõem o mosaico da paisagem.



Otto et al. (2007), avaliaram a paisagem costeira das Ilhas Canárias em 28 anos. O mosaico heterogêneo da paisagem composto por quatro tipos de uso do solo foi alterado pelo crescimento da urbanização e da cobertura culturas irrigadas. Neste artigo fica demonstrado pela fragmentação e destruição da vegetação natural (60% da vegetação nativa costeira destruída) o papel do turismo e das modernas técnicas de agricultura irrigadas como agentes modificadores da paisagem costeira.



# Capítulo 4

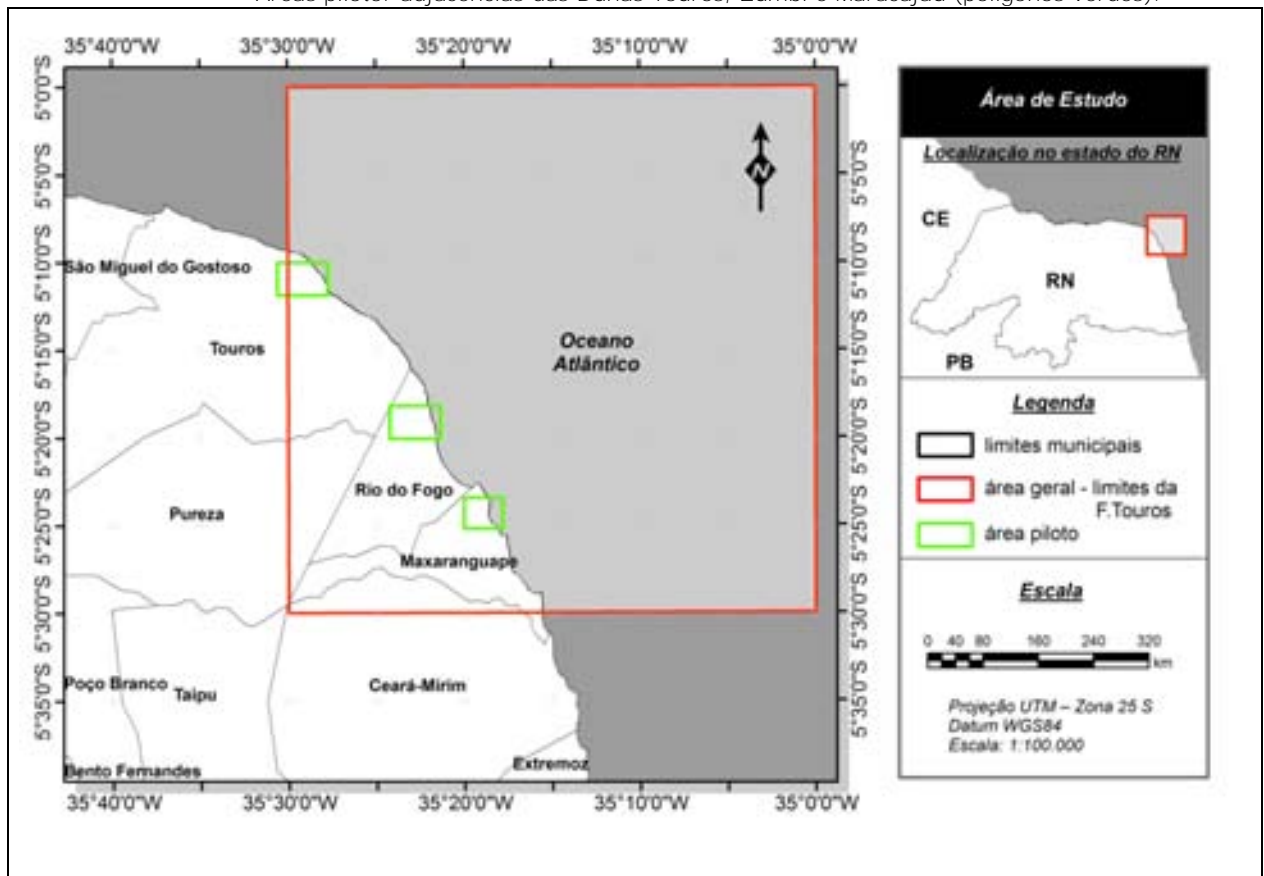


#### IV. Materiais e Métodos:

##### 4.1. Localização da Área de Estudo

A área estudada encontra-se localizada no nordeste oriental do estado do Rio Grande do Norte (Fig. 5.3) e vem sendo estudada com a finalidade de se obter informações para atualização de dados de monitoramento da dinâmica temporal dos sistemas de dunas litorâneas e, secundariamente executar mapeamento geológico. A área geral é limitada pelas coordenadas: latitude  $5^{\circ}00' - 5^{\circ}30' S$  e longitude  $35^{\circ}00' - 35^{\circ}30' W$ , UTM/ 25S - Datum WGS84, área correspondente aos limites da Folha Touros (SB.25-V-C-II - SUDENE). Três áreas pilotos foram recortadas, tendo sido selecionadas em função da proximidade com a linha de costa, influência mútua com dunas frontais e também da presença de manchas urbanas entre a duna frontal e duna móvel. Outros fatores que justificam a seleção dos recortes espaciais serão expostos ainda neste capítulo. Em termos gerais o mosaico da área (área geral e piloto) apresenta-se vantajosa tendo em vista a considerável dinâmica das variações espaciais e temporais da paisagem.

Figura 4.0 – Área de estudo geral: limites da Folha Touros (linha vermelha).  
Municípios: Touros, Pureza, Rio do Fogo, Maxaranguape, Ceará-Mirim.  
Áreas piloto: adjacências das Dunas Touros, Zumbi e Maracajaú (polígonos verdes).



A área emersa (continental) definida pelos limites da Folha Touros (FT) foi utilizada para mapeamento geológico (1: 100.000) e monitoramento multitemporal das dunas móveis entre Ceará - Mirim e Touros (escala 1: 100.000). As áreas piloto foram usadas para mapeamento (1: 40.000) temporal do entorno dos campos de dunas móveis nos lugarejos de Touros, Zumbi e Maracajaú.

## 4.2. Levantamento de dados e informações pré-existentes

### 4.2.1. Levantamento bibliográfico e cartográfico

Levantamento bibliográfico para fundamentação teórica e definição dos métodos, técnicas que estão sendo usadas para aquisição de dados inéditos. Informações preexistentes, como mapas, artigos científicos, monografias, dissertações e teses. Consulta a banco de dados digitais georreferenciados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), principalmente arquivos do tipo "shapefile", também foram adquiridos. Leituras de bibliografias pertinentes a conceitos e técnicas específicas sobre os sistemas passivos de imageamento, e sobre as técnicas de processamentos destas imagens, além de levantamento do acervo cartográfico digital disponível no Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGEO/ UFRN).

O principal material cartográfico utilizado foi:

- Carta topográfica - SB.25-V-C-II – Folha TOUROS, Escala 1:100.000, elaborada pela superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE); Impressão 1972.

## 4.3. Criação do Mapa Geológico Geral

### 4.3.1. Mapa Geológico

No mapeamento geológico foram interpretadas fotografias aéreas adquiridas originalmente em escala de 1:70.000, em papel, e digitalizadas com resolução espacial aproximada de 15m. Neste sentido, pretendia-se "calibrar" precisamente os limites e os contatos entre as unidades geológicas mapeáveis na escala de utilizada que foi de 1:100.000. Produtos de SR da serie Landsat adquiridos (Home Page – INPE: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) também foram fundamentais neste processo.

No total foram 150 afloramentos visitados e 163 amostras recolhidas, das quais 47 foram coletadas nos depósitos eólicos não vegetados (dunas móveis). A obtenção desses pontos serviu de base para posterior mapeamento temático dos campos de dunas móveis, mapa geológico e mapas de evolução temporal em áreas piloto. Toda cartografia produzida e editada tiveram como base coordenada geográfica UTM/ 25S - Datum WGS84.

### 4.3.2. Seleção das áreas piloto.

A etapa de mapeamento geológico foi de extrema importância para escolha do recorte espacial das áreas piloto. Sob o ponto de vista temporal e espacial, certamente as dunas móveis apresentam maior dinâmica de alterações nos arranjos espaciais do que as outras unidades mapeadas. Sem desmerecer a evolução das outras unidades, admite-se que os padrões de mudanças temporais seriam bem mais evidentes nos campos de dunas ativos dispostos ao longo da costa. Já o recorte feito para os campos de dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajuá são justificados pelos arranjos espaciais relevantes dentro do contexto



de interação com as dunas frontais e aporte sedimentar. A figura 4.1 ilustra os limites porção continental da Folha Touros (área geral), escolhida inicialmente como área para mapeamento geológico, e destaca os limites das áreas pilotos no entorno dos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajuá, localizadas respectivamente, nos municípios de Touros, Rio do Fogo e Maxaranguape.

Figura 4.1 – Área de estudo geral: limites da Folha Touros  
Áreas piloto: adjacências das Dunas Touros, Zumbi e Maracajuá.



#### 4.4. Sensoriamento Remoto

##### 4.4.1. Produtos de sensores remotos utilizados

Sistematicamente a metodologia foi subdividida em duas formas para edição de cartas temáticas: a partir de produtos de sensoriamento remoto multiespectrais e através de fotografias aéreas (tab. 4.1).

Tabela 4.1 – produtos de sensores remotos com os respectivos intervalos em anos. Coordenadas UTM – Zona 25 S - Datum WGS84.

PLATAFORMA	LANDSAT 5	LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 5	FOTOS AÉREAS
SENSOR	TM	TM	ETM+	TM	CAMERA
ANO	1988	1993	2001	2007	1970-2006
DATA	05/06/1988	05/07/1993	04/08/2001	29/08/2007	1970 - P & B 2006 - Coloridas
ORBITA/ PONTO	214/64	214/64	214/64	214/64	
DIFERENÇA ANO/ANO	0	5	8	6	-
DIFERENÇA TOTAL	Início - fim	1988	2007	19	36
ESCALA DO MAPEAMENTO	1:100.000	1:100.000	1:100.000	1:100.000	1:40.000



#### 4.4.2. Utilização de produtos multiespectrais

Admite-se na presente pesquisa uma peculiar diferença terminológica entre análise temporal e multitemporal. Esta última expressão faz referencia a evolução da paisagem em sequencias de imagens de series temporais, com dois ou mais de intervalos de tempo. Neste subitem da proposta metodológica foram admitidos três períodos. Análise temporal aqui mencionada remete idéia da evolução temporal entre um tempo final e o inicial ( $t_1 - t_2$ ), ou seja, comparação entre dois produtos imagem em único intervalo de tempo.

O mapeamento feito obedeceu a critérios de seleção que levaram a escolha dos produtos séries Landsat 5TM e 7ETM+. Devido basicamente as seguintes características:

- menor porcentagem de cobertura de nuvens;
- cena capaz de visualizar todos os campos de dunas presentes na zona costeira do litoral oriental entre os municípios de Maxaramguape, Rio do Fogo e Touros;
- e por último, aquisição gratuita de imagens junto ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) que permitissem avaliação em series temporais.

Outra consideração que deve ser mencionada, diz respeito a quantificação, visualização e escala dos campos de dunas móveis. Primeiro, a superfície sedimentar mapeada e quantificada, exclusivamente, ilustraram a dinâmica de todos os campos de dunas móveis presentes entre Touros e Maxaramguape. Segundo, em função dos limites norte e sul da Folha Touros, por possíveis restrições na visualização dos arranjos espaciais nos mapas impressos, optou-se por apresentar a distribuição dos padrões aproximando (zoom) a visualização para as dunas de Zumbi e Maracajaú. Em terceiro lugar, deve-se notar que todo mapeamento realizado com os produtos multiespectrais da série LANDSAT aconteceu sob escala 1:100.000.

Tabela 4.2. Características gerais e aplicações do sensor TM/ETM Landsat5/7 (adaptado Silva, 2009)

Satélite/Sensor	Bandas	Faixa Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (m)	Aplicação Principal
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	1	0,45 - 0,52	30	Estudos batimétricos e identificação de plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	2	0,53 - 0,61 0,52 - 0,60	30	Sedimentos em suspensão nos <b>corpos d'água</b>
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	3	0,63 - 0,69	30	Delimitar a cobertura vegetal e ocupações antrópicas.
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	4	0,78 - 0,90 0,76 - 0,90	30	Mapear informações geomorfológicas drenagem, lagoas continentais, geologia, morfológicas das dunas, vegetação e áreas agrícolas.



Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	5	1,55 – 1,75	30	Destaca a vegetação.
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	6	10,42 – 12,5	60	Detecta propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	7	2,09 – 2,35	30	Obter informações de geologia, e geomorfologia, indícios de íons hidroxilas e hidrotermalismo.
Landsat 7 ETM+/ Landsat 5 TM	8	0,52 – 0,90	15	Banda pancromática de melhor resolução espacial.

Para analisar a evolução multitemporal das dunas foram selecionadas quatro cenas de imagens orbitais da série Landsat. Três do sistema Landsat5/TM (1988, 1993 e 2007) e uma do sistema Landsat 7/ETM+ (2001). Elas foram obtidas gratuitamente no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/ BR). Conforme tabela (4.2) são expostas as principais características e aplicações dos satélites usados, vale salientar que alguns das bandas são uteis no reconhecimento de feições geomorfológicas e realce das dunas. Os procedimentos metodológicos nesta etapa podem ser resumidos da seguinte forma:

1. escolha de cenas dos sensores Landsat;
2. classificação e mapeamento das dunas eólicas (1: 100.000);
3. quantificação das dunas móveis litoral oriental entre 1988 e 2007;
4. quantificação das diferenças multi-temporais (1988/2007).

#### 4.4.2.1. Quantificação das diferenças - multi-temporais

Além dos resultados quantitativos apresentados em tabelas, gráficos e das alterações visualmente notadas pela comparação entre mapas, verificou-se necessidade de espacializar as diferenças entre os arranjos espaciais para cada intervalo de tempo. Este método aplicado fornece informação sobre regressão ou progressão dos sistemas dunares que indiretamente gera informações sobre a migração da duna móvel continente adentro.

Utilizando software de geoprocessamento ArcGis 9.3 (Esri, 2008), todas as camadas representativas dos campos de dunas 1988, 1993, 2001 e 2007 foram sobrepostas, respectivamente em ordem crescente. Empregou-se ferramenta "symmetrical difference" (arctoolbox – search – intersect - symmetrical difference) ao sobrepor a camada antiga sobre a recente foi possível obter e visualizar a diferença de área entre um ano e outro. O produto desta técnica é um mapa espacial com valores positivos para regiões em avanço e valores negativos para áreas que sofreram redução da cobertura. Admite-se que a técnica foi aplicada somente as dunas mapeadas a partir das cenas do Landsat.

#### 4.4.3. Utilização de Fotografias aéreas

A estratégia metodológica adotada para o mapeamento destes produtos foi diferente. A evolução restringiu-se ao intervalo temporal de 36 anos (1970 a 2006).



A primeira etapa consistiu em mapear os campos de dunas, em seguida mapear os elementos de uso e ocupação do solo.

Foram isolados pontualmente, três principais campos de dunas; em Touros, Rio do Fogo e o último no município de Maxarambuape. A partir da escolha destes campos de dunas ativas, optou-se pelo recorte espacial de uma área menor limitada por um polígono regular com área igual a 18 km<sup>2</sup>, 18 km<sup>2</sup> e 13 km<sup>2</sup>, respectivamente.

As áreas de trabalho locais foram selecionadas admitindo alguns aspectos:

- que estas localidades correspondiam aos três campos de dunas com maior área não vegetada contínua;
- recebiam influência de aporte sedimentar das dunas frontais;
- por apresentar arranjos espaciais interessantes do ponto de vista de conexões com a linha de costa;
- e dinâmica espaço-temporal passível de ser visualizada e mapeada.

Nesta perspectiva a proposta foi vetorizar e classificar pelo método supervisionado os elementos de uso do solo no entorno dos campos de dunas móveis. Os temas mapeados foram dunas móveis, dunas vegetadas, restinga, área urbana, lagoas e oceano.

A análise temporal foi realizada por interpretação visual e vetorização e, pela classificação supervisionada. Apesar de parecer redundante, a pretensão é testar os dois métodos para avaliar se a interpretação pessoal gerada pela vetorização segue a mesma tendência de uma classificação estatística automática. Perceber se os padrões espaciais apresentados pelos produtos temáticos geram ao menos cenários semelhantes. Basicamente a sistemática de aplicação dos métodos envolvendo as fotos aéreas obedeceu a seguinte ordem:

1. aquisição das fotografias 1970 e 2006 (vôo do projeto PRODETUR);
2. recorte espacial em Touros, Zumbi e Maracajaú;
3. classificação e mapeamento das dunas eólicas (1: 40.000);
4. quantificação das áreas dos campos de dunas entre 1970 e 2006;
5. dinâmica da paisagem no entorno das dunas pela vetorização;
6. dinâmica da paisagem no entorno das dunas pela classificação.

Para cada cena as coberturas de nuvens das imagens foram restritas para o menor valor possível. Dentro dos limites da região verificou-se a presença de nuvens em uma pequena área de algumas cenas, que não influenciaram os resultados por que a maioria estava posicionada na zona submersa, sobre a superfície do oceano. As cenas orbitais obtidas correspondem aos meses de junho, julho e agosto. Foi padronizada a escolha da imagem para o período com as mesmas características climáticas, com a preocupação de minimizar resultados tendenciosos em virtude de respostas espectrais diferenciadas entre algumas estações do ano (tab. 5.1).



As imagens foram tratadas nos aplicativos Arcgis 9.3 (Esri, 2008), Envi 4.4 (Sulsoft, 2003) e ERMapper 7.0, específicos para melhoria da qualidade, extração das informações, interpretação, elaboração de sistemas de informações geográficas e criação de mapas temáticos.

#### 4.5. Processamento digital de imagens (PDI)

No processamento de imagens digitais de é feita a análise e a manipulação das imagens digitais, cuja finalidade é identificar, extrair informações e transformar a imagem de tal modo que a informação seja mais facilmente discernível por um analista (Crósta, 1992).

##### 4.5.1. Pré-processamento

O pré-processamento envolve procedimentos e técnicas de geoprocessamento que preparam e corrigem os produtos de sensoriamento remoto antes que os dados possam ser gerados ou obtidos pela análise das imagens.

Geralmente, as imagens adquiridas apresentam sutis incompatibilidades entre sistemas de projeção. A espacialização, sobreposição e comparação dos dados são distorcidas quando essas correções são desconsideradas. A etapa de retificação geométrica é relevante para corrigir distorções e eliminar erros devido a passagem do satélite e curvatura da Terra. A retificação geométrica foi feita usando como referência espacial arquivo vetorial (arquivo de verdade terrestre - shapefile adquirido em campo) representativo da drenagem local e pontos levantados em atividade de campo. Procedimento aplicado no software ArcGis 9.3 (Esri, 2008). No ArcGis a retificação pode ser aplicada pelo comando "retify" com auxílio de pontos e controle ou arquivo shapefile para georrefenciamento espacial.

As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor Landsat 7 ETM+ passaram pelo processo de fusão produzindo um único arquivo "multilayer" (.ers). O objetivo deste pré-processamento foi facilitar a manipulação das bandas durante os testes com as combinações coloridas e permitir a análise de parâmetros estatísticos da correlação entre as bandas do sensor ETM+. Este procedimento foi realizado no aplicativo ErMapper 7.0 (comandos: a)- process – calculate statistics; b)- view – statistics – show statistic).

##### 4.5.2. Processamento

###### 4.5.2.1. Realce de contraste

O histograma de uma imagem fornece informação de como estão distribuídos os níveis de cinza ou valores de DN (digital number) de uma imagem. Quando o contraste é baixo, estes níveis estão concentrados próximos aos valores a "0" com tonalidades escuras ou concentrados nos tons claros "255". Realçar ou aumentar o contraste implica em espalhar os níveis de cinza da imagem, onde os DNs de valores baixos são arrastados para próximo de "255" e os DNs altos são espalhados próximos a "0". É um procedimento útil, simples e frequentemente usado. No aplicativo ErMapper foi usado o comando edit Transform (edit transform limits) e no Envi optou-se por: transform – selecione o tipo de "stretch".

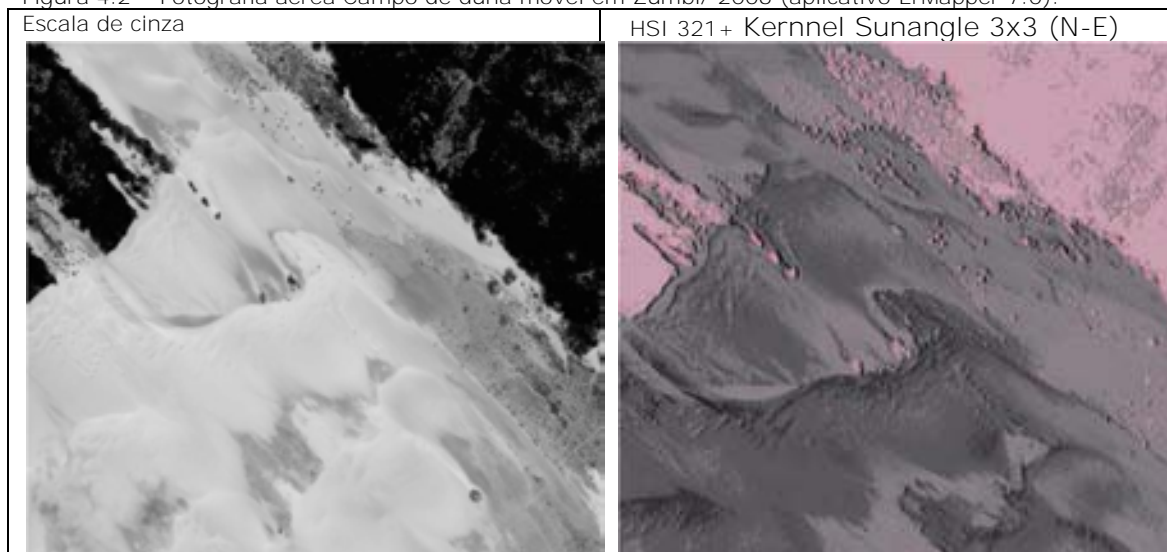


#### 4.5.2.2. Espaço Red, Green, Blue e Intensity, Hue, Saturation (RGB - IHS)

Embora existam imagens com 8 bits que podem produzir acima de 256 valores de DN (digital number) ou níveis de cinza, já existem imagens de sensoriamento remoto registradas com uma resolução radiométrica de 11 bits. Normalmente, as imagens contêm, em cada banda, uma pequena faixa desses valores e, além disso, a presença de bruma atmosférica assim como a geometria de iluminação da cena podem atenuar as próprias características da imagem (Sulsoft, 2003b). Atualmente também estão disponibilizadas imagens com resolução radiométrica com 16 e 32 bits. A visão humana é capaz de discernir pouco mais de 30 diferentes níveis de cinza. Quando a cor entrar na percepção destes níveis, o número passa facilmente para algumas dezenas de milhares de cores diferentes, com um máximo em torno de sete milhões. Logicamente a cor domina o sistema visual humano (Crósta, 1992).

Por esse motivo foi feita a combinação RGB 321, onde a banda 3 foi inserida no canal do vermelho (Red), a 2 no canal do verde (Green), e a 1 no canal do azul (Blue). Feita a composição em cores, as imagens apresentaram-se em diferentes tonalidades representativas da superfície terrestre. Esta composição permitiu diferenciar área dos campos de dunas móveis do que não era duna. Nesta última foi possível reconhecer alvos como oceano, lagoas, área urbana, dunas vegetadas e vegetação pioneira de porte herbáceo (potencialmente restinga). A combinação anteriormente citada forneceu os produtos preliminares susceptíveis ao inicial reconhecimento dos limites dos campos de dunas. Composição de bandas no espaço HSI foi testada com o intuito de extrair informações associadas às propriedades da cor (hue), saturação (saturation) e intensidade (intensity). Nessa etapa, o sistema HSI permitiu identificar com maior clareza aspectos geomorfológicos das dunas livres tais como (fig. 4.2): contato da duna livre com a vegetada; detalhes de sombreamento em função da topologia; sutis marcas de sedimentos localizadas na superfície de deflação, o que facilitou a classificação das categorias de dunas a partir de sua forma (Florenzano, 2008).

Figura 4.2 – Fotografia aérea Campo de duna móvel em Zumbi/ 2006 (aplicativo ErMapper 7.0).



Neste contexto, alguns elementos como campos de dunas, vegetação, ambientes alagados e a morfologia costeira, apresentaram um grande destaque, principalmente com a combinação de composições coloridas no sistema de interpretação de imagem HSI, aplicação de filtros e realce de contraste por equalização do histograma. Após este tratamento as fotografias aéreas foram comparadas e posteriormente classificadas (fig. 4.2).

#### 4.5.2.3. Análise por Principais Componentes (PCs)

A participação de uma banda na PC é determinante para a sua escolha, pois de acordo com esta participação e com conhecimento da assinatura espectral destas bandas, torna-se possível eleger qual a melhor PC para as estruturas a serem visualizadas na imagem. Então, para destacar e visualizar diferentes feições ou estruturas na imagem é interessante combinar bandas com baixas correlações entre si, pois o grau de semelhança entre elas é menor, sendo assim, diferenças de estruturas na imagem são potencialmente evidenciadas. De acordo com a figura 4.3 as principais correlações estatísticas, obtidas pelo software Er Mapper 7.0, foram:

- Banda 1 apresenta alta correlação com as bandas 2 e 3. Menor correlação com as bandas 4 e 5.
- Banda 2 apresenta maior correlação com as bandas 1 e 3. Menor correlação com as bandas 5 e 6.
- banda 3 apresenta maior correlação com as bandas 2 e 4. Menor correlação com as bandas 1 e 5.
- Banda 4 apresenta maior correlação com as bandas 2 e 3, e menor correlação com as bandas 1 e 5.
- Banda 5 apresenta maior correlação com as bandas 4 e 6. Menor correlação com as bandas 1 e 2.
- Banda 7 apresenta maior correlação com as bandas 3 e 5, respectivamente 0.811 e 0.937 e menor correlação com as bandas 1 e 2.

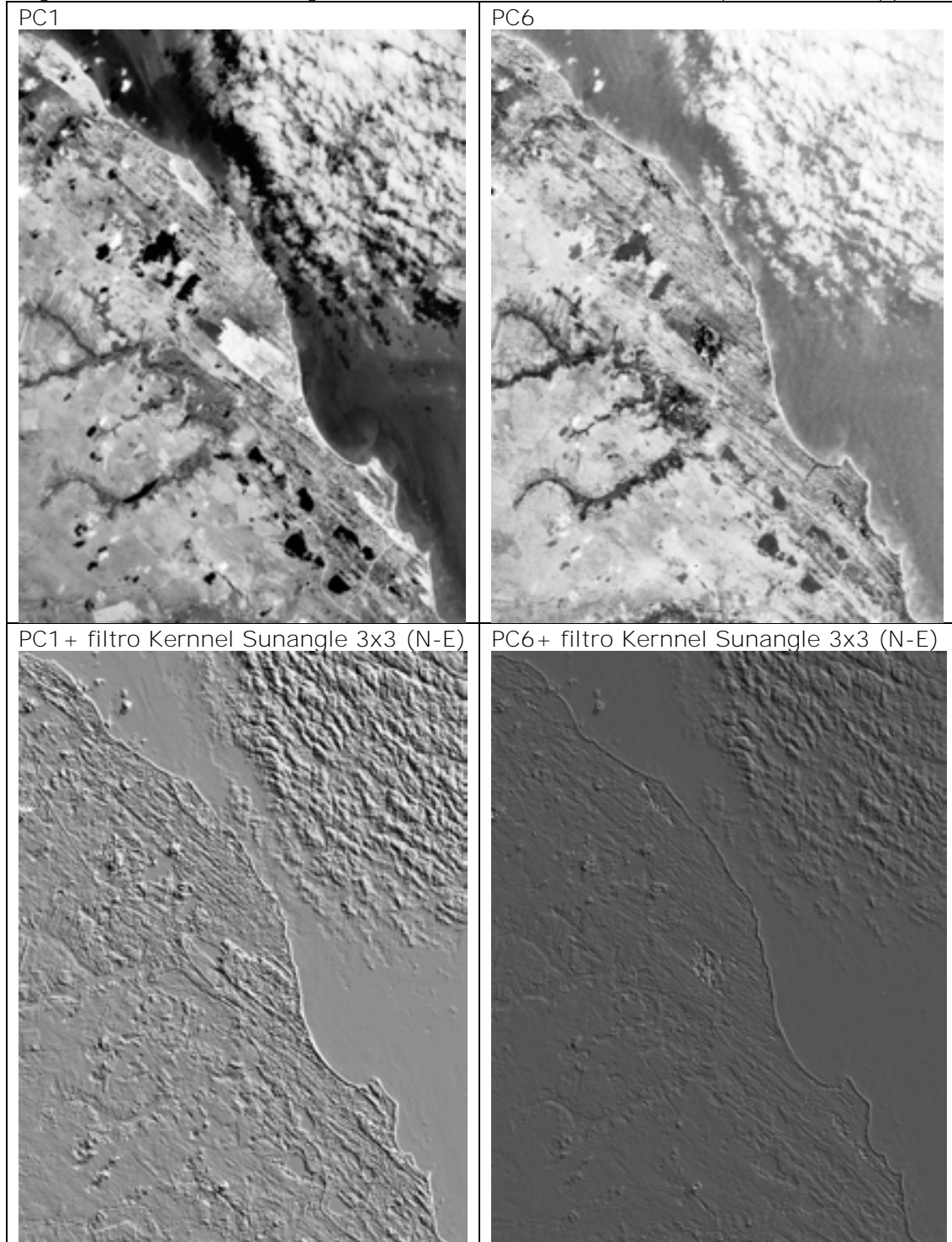
Figura 4.3 – matriz de correlação entre bandas do sistema Landsat7ETM+

Correlation Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
Band1	1.000	0.979	0.957	0.795	0.773	0.820
Band2	0.979	1.000	0.990	0.865	0.833	0.859
Band3	0.957	0.990	1.000	0.872	0.859	0.888
Band4	0.795	0.865	0.872	1.000	0.943	0.888
Band5	0.773	0.833	0.859	0.943	1.000	0.977
Band7	0.820	0.859	0.888	0.888	0.977	1.000

O objetivo de avaliar as imagens através das PCs implica em identificar diferenças entre as unidades da paisagem ou realçar um alvo individualmente. Os produtos imagens PCs podem ser entendidos como novas imagens geradas a partir da separação máxima do contraste das bandas. Onde de acordo com o número de bandas, a primeira imagem gerada (PC1) possuiu a maior variedade de dados, é composta por informações de todas as bandas consecutivas. Esta heterogeneidade

de informações diminui na formação das PCs seguintes. De forma que existe um gradiente que varia da PC com maior diversidade de feições para a menor variedade de informações (ver fig.4.4).

Figura. 4.4 – Produto imagem PC1 e PC6 do Landsat7ETM+ (aplicativo ErMapper)



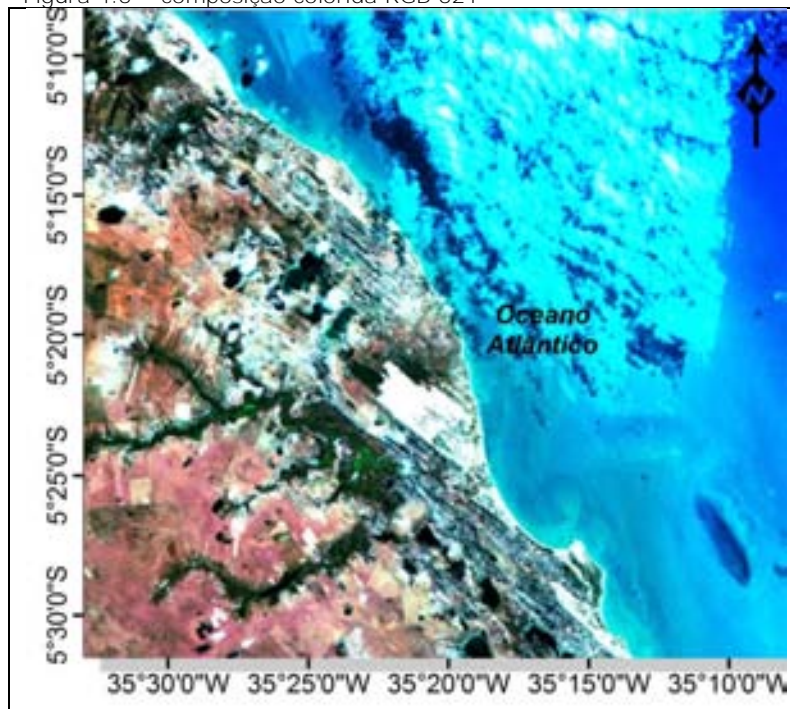
Vale salientar que aplicação dos filtros resultou eficazmente no reconhecimento dos limites topológicos. O procedimento implicou na produção de

um sombreamento causado pela "iluminação" da imagem no sentido nordeste onde foram realçadas as unidades litológicas da paisagem estudada mapeada, o contorno da drenagem (rios e lagos) ficou evidente, além da perfeita identificação dos limites de cada campo de duna móvel desde Maracajaú até Touros/RN.

#### 4.5.2.4. Composições Testadas

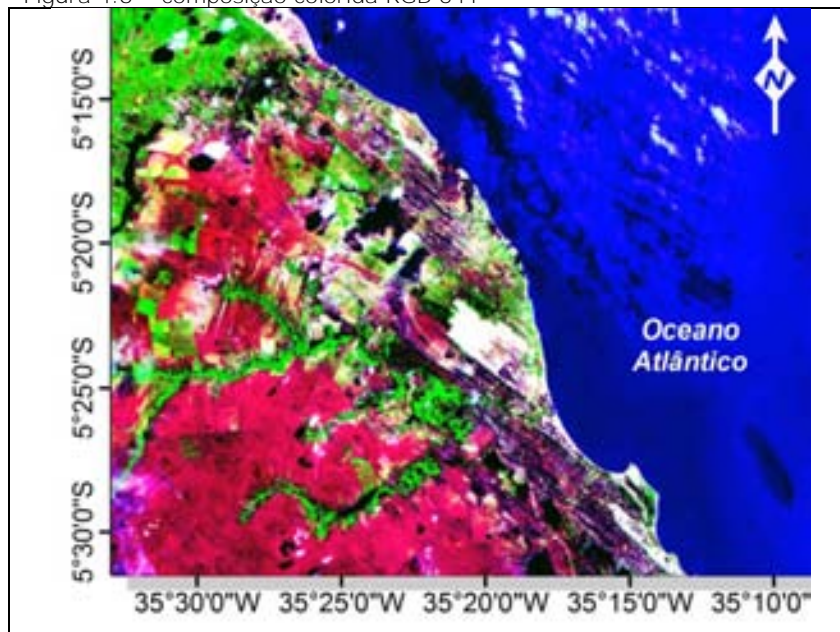
RGB 521: Essa combinação permitiu a visualização da deriva litorânea e sentido de deslocamento. As bandas 1 e 2 do Landsat 7 ETM+ do foram eleitas juntamente com a 5, banda que apresenta a menor correlação com as citadas anteriormente (fig. 4.3). As dunas móveis foram destacadas em tonalidades de branco, o que atende aos propósitos do trabalho (fig. 4.5).

Figura 4.5 – composição colorida RGB 521



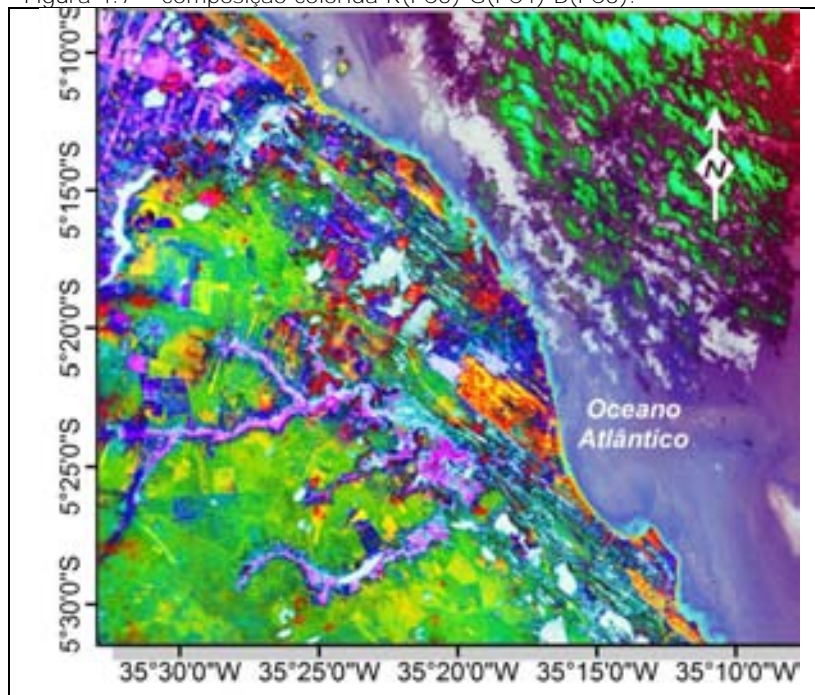
RGB 541: A combinação tem como propósito realçar a visualização das dunas, da rede de drenagem dos rios, e a vegetação verde que acompanha os leitos dos mesmos. Assim, a banda quatro foi fundamental no realce de feições geomorfológicas, pedológicas e geológicas, como também, apresentou boa resposta espectral no destaque da vegetação (fig. 4.6). Foi utilizada com ela as bandas 1 e 5, pois são estas as que apresentam menor correlação com a banda 4 (fig. 4.3).

Figura 4.6 – composição colorida RGB 541



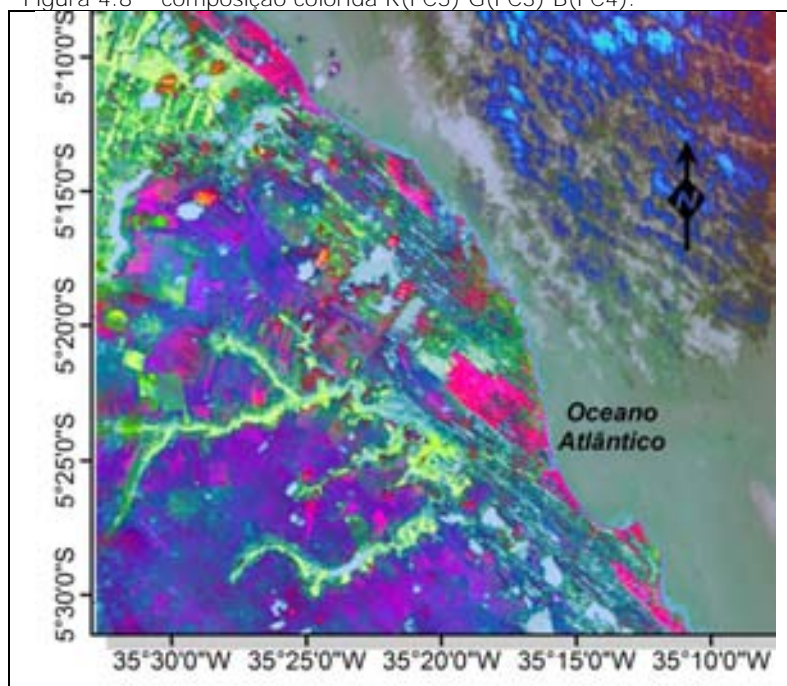
R(PC5) G(PC4) B(PC3): Combinação difere da próxima pela inversão entre as PCs 3 e 4, sendo que a 3 do blue passou para o green e a 4 o inverso. O resultado foi uma ótima diferenciação de cores dentro dos campos de dunas (entre amarelo e laranja) indicando uma possível variação geomorfológica. Também revelou uma variação de cores entre a vegetação situada nas margens dos rios e mostrou mais claramente a movimentação das correntes litorâneas em relação a configuração do litoral (fig. 4.7).

Figura 4.7 – composição colorida R(PC5) G(PC4) B(PC3).



R(PC5) G(PC3) B(PC4): A PC 5 foi eleita como norteadora da composição, em função de apresentar grande participação da banda 7 do Landsat 7ETM+. Esta PC foi combinada com as PCs 3 e 4 em função destas duas exercerem maior influência sobre os padrões geomorfológica). O resultado possibilitou uma ótima delimitação de todos os campos de eólicos do litoral oriental entre Maxaramguape e Touros. Nesta combinação pode-se afirmar que somente os sedimentos arenosos adjacentes à costa marcados pelos tons de rosa ilustram de fato campos de dunas frontais e móveis. Por esta razão o produto gerado na fig.(4.8) foi a imagem escolhida para efetuar a classificação estatística supervisionada do tipo "MaxVer" (Máxima Verossimilhança). Adotou-se a mesma combinação para as imagens do satélite Landsat5 TM, a posteriori, a etapa de classificação foi iniciada.

Figura 4.8 – composição colorida R(PC5) G(PC3) B(PC4).



As ferramentas agregadas ao processamento de imagens digitais sejam fotos aéreas ou cenas multiespectrais da família Landsat, foram empregadas eficientemente para evidenciar pequenos contrastes na característica de cada elemento da paisagem. Portanto as aplicações gerais do PDI aos recursos terrestres dependem fortemente do conhecimento das características espectrais particulares, próprias de cada objeto de estudo (Amaro, 1998). Por isso a seleção das bandas deve ser norteadada cuidadosamente pela avaliação das assinaturas espectrais dos elementos de cada ambiente de ordem natural ou produzido pelo homem.

#### 4.5.2.5. Mosaicagem das fotografias aéreas

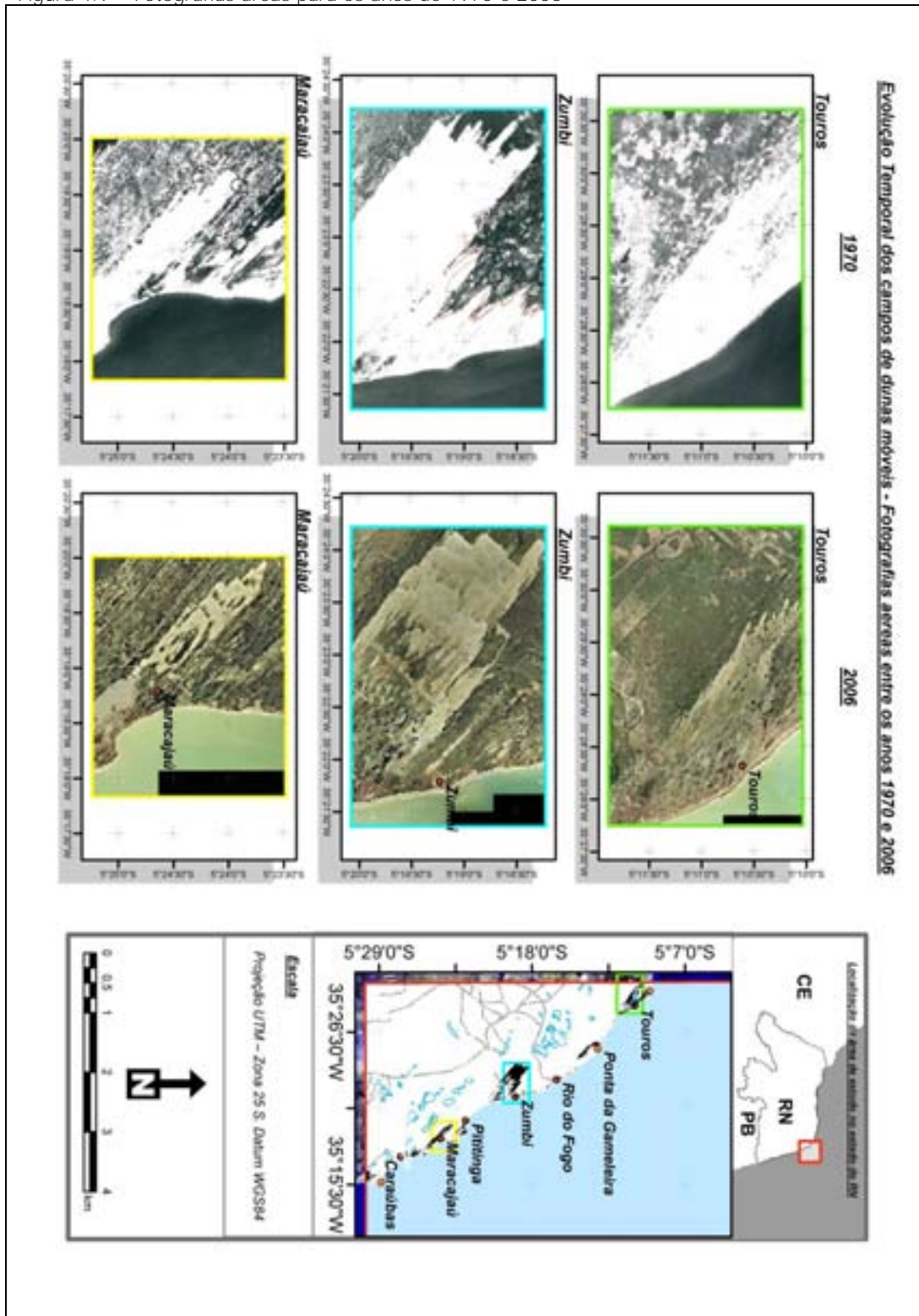
Unir em um único arquivo duas ou mais fotografias aéreas implica em maximizar as semelhanças das repostas frente a qualquer tipo de processamento posteriormente aplicado. Três cenas das fotografias aéreas 1970 foram unidas nessa etapa do trabalho para criação do mosaico, antes deste procedimento metodológico foi necessário corrigir geometricamente as imagens. A retificação foi executada com base em um arquivo de drenagem tipo HIDROGEO (.shp – IBGE, 2008) totalmente adequado ao voo e compatível com as seguintes referências cartográficas: projeção UTM Zona 25S e Datum WGS84.

#### 4.6. Vetorização

O método de vetorização foi aplicado somente para análise temporal e mapeamento das coberturas no entorno dos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú. O procedimento mencionado foi aplicado as fotos aéreas de 1970 e 2006 (fig. 4.9). O método adotado consiste simplesmente na interpretação das fotos, auxiliados pela espacialização dos pontos marcados em campo, para **confecção da carta temática. Sistemáticamente polígonos são "desenhados"** em torno do alvo a ser mapeado. Usar esta técnica implica em definir cartas temáticas a partir do ponto de vista do usuário. Os objetos que compõem o mosaico da paisagem e a forma que os alvos adquirem são gerados a partir de uma interpretação pessoal e relativamente generalista. Vale salientar que a definição dos campos de dunas segue critérios da fundamentação teórica e levantamento em campo. Os mapas temáticos gerados pelas vetorizações são apresentados no capítulo de resultados.



Figura 4.9 – Fotografias áreas para os anos de 1970 e 2006



#### 4.7. Classificação Supervisionada MaxVer

Foi feita uma classificação supervisionada do tipo Máxima verossimilhança - "maximum likelihood", que leva em conta a ponderação das distâncias médias. Nessa classificação, os conjuntos de treinamento devem ser rigorosamente bem definidos em pontos representativos em todas as categorias de coberturas. Também é necessário um número razoavelmente elevado para cada conjunto de treinamento, sendo o ideal acima de 100 (Crósta, 1992).

No aplicativo Envi 4.4 (Sulsoft, 2003), antes que sejam feitas as classificações supervisionadas é indispensável criar amostras, ou seja, marcar na imagem as classes que representaram os temas dos mapas. Após a identificação das categorias que se pretende distinguir no mosaico da paisagem, deve-se indicar na imagem locais onde se pode definir estas regiões de interesse. Onde os conjuntos de pixels da imagem que correspondem àquelas categorias que foram vistoriadas nas etapas de campo são denominados conjunto de treinamento. Por este método, a imagem não será classificada se não forem criadas e bem definidas as regiões de interesse conhecidas como ROI's (Regions of Interest) (Sulsoft, 2003b).

Como o objetivo era caracterizar espectralmente os campos de dunas móveis e coberturas de uso do solo, mediante os dados orbitais, fez-se necessário utilizar o processo de classificação multiespectral. Este procedimento diz respeito a associar cada pixel (valores numéricos - níveis de cinza) de uma imagem a um "rótulo". De acordo com a resposta espectral, para cada valor numérico associado à reflexão de um pixel são identificados os tipos de coberturas da superfície terrestre, que podem ilustrar de forma temática a cobertura vegetal, solo, águas continentais, rocha exposta, entre outros.

O método Máxima Verossimilhança principalmente em função da modelagem estatística inerente as classificações supervisionadas, podem gerar imprecisões sérias quando as áreas de treinamento (regiões de interesse) definidas não são bastante representativas da superfície terrestre imageada (Crósta, 1992).

O método em questão parte do princípio de que o usuário conhece bem a paisagem costeira dos campos de dunas móveis a ser classificada e, que as áreas de treinamento foram cuidadosamente definidas em pontos representativos em todas as categorias de coberturas. Desta forma, a obediência a essas duas premissas básicas foram suficientes para a obtenção de bons resultados (mapas temáticos com classificação confiável).

Os mapas temáticos gerados pelas classificações são apresentados no capítulo de resultados. As coberturas definidas para as imagens foram:

- ❖ Mancha urbana
- ❖ Duna móvel
- ❖ Duna vegetada
- ❖ Restinga
- ❖ Recursos hídricos
- ❖ Lagoas

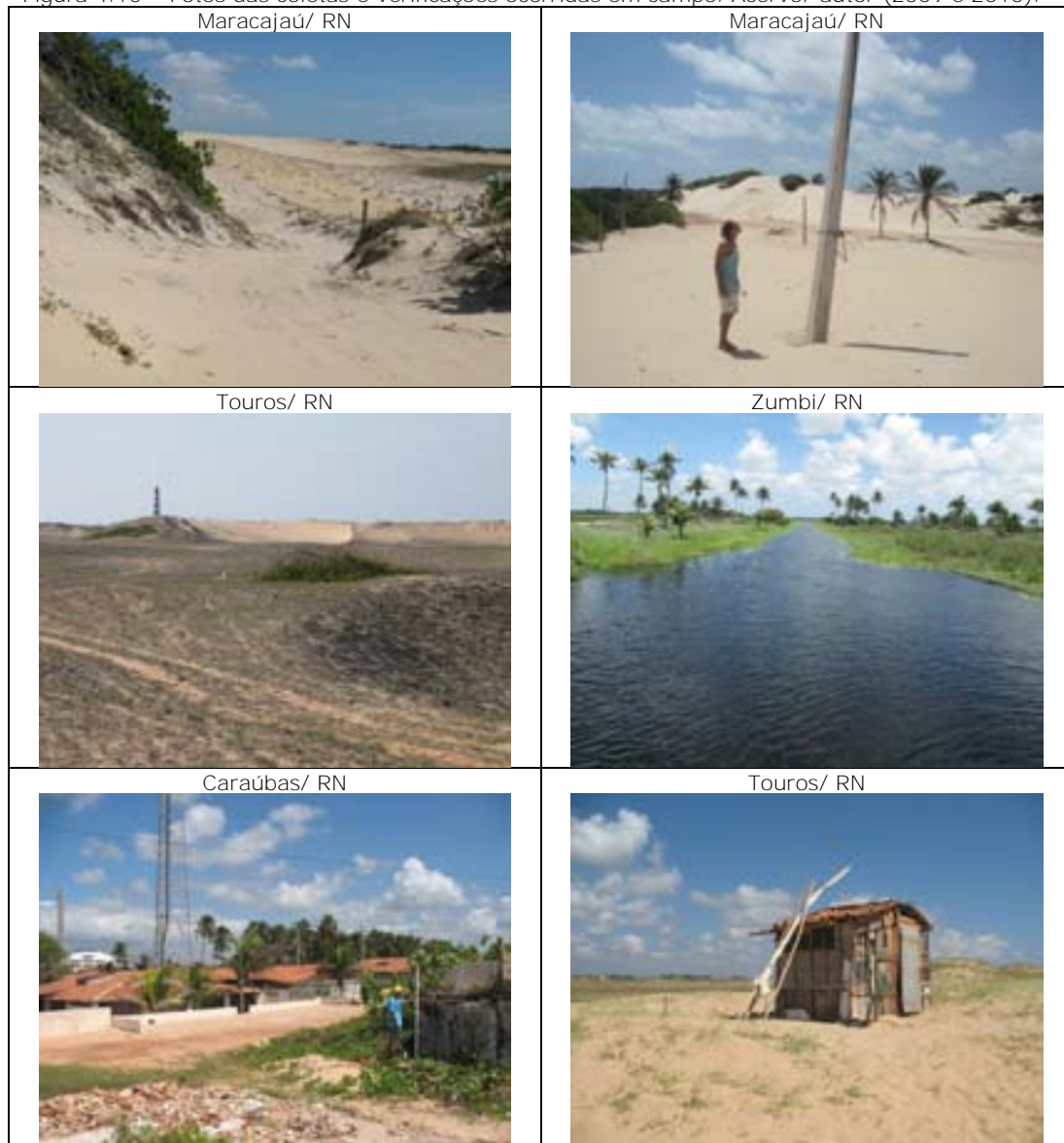


## 4.8. Trabalhos de campo

### 4.8.1. Sistema Global de Posicionamento - GPS

Através de quatro campanhas de campo vários pontos foram obtidos in loco (fig.4.10) para melhor conhecimento da área e validação dos resultados. Aproximadamente foram coletados 150 pontos para calibrar a identificação das dunas móveis, geológica local e identificar os alvos ou classes de uso do solo. Aproximadamente 20% do total de pontos estão dentro das três áreas piloto.

Figura 4.10 – Fotos das coletas e verificações ocorridas em campo. Acervo/ autor (2009 e 2010).



Nesta etapa, em três excursões para levantamento de afloramentos geológicos, houve visita a região da área de estudo, para que fossem correlacionados os padrões exibidos pela imagem (paisagem das dunas) com a realidade de campo. Usou-se o Sistema de "Global Position System" (GPS) para definir mais de 150 pontos (UTM) nos campos de dunas e no entorno dos campos

mais expressivos, vistos nas imagens. Todos os pontos também foram registrados em fotos. A obtenção desses pontos serviu de base para posterior classificação das imagens e edição de cartas temática em função da evolução multitemporal, temporal e uso do solo.

O trabalho de campo objetivou validar os dados obtidos nas imagens e fazer uma descrição detalhada da paisagem (definição das coberturas). Foi assim averiguado se as possíveis manchas de dunas nas imagens correspondiam aos dados pontuais encontrados em campo com o uso do GPS. Foi imprescindível o uso do GPS no trabalho de campo nas dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú, muitas informações inseridas no SIG foram provenientes desta ferramenta, que tem por funções básicas localização, navegação e mapeamento.

#### 4.9. Cartas temáticas geradas

Os elementos naturais associados aos campos dunares como solo, água, atmosfera e plantas formam um ecossistema integrado, cuja cobertura sedimentar desempenha um papel essencial.

O processo de interação entre a radiação eletromagnética referente a um espectro óptico e um alvo é dependente de fatores químicos e estruturais e pode ser observado sob o ponto de vista da absorção, da transmissão e da reflexão da radiação. Evidentemente, pode-se concluir que os mapas temáticos criados no presente estudo são na verdade uma resposta da radiação refletida pelos sedimentos, na sua maioria grãos de quartzo, da cobertura campo de duna móvel (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Posteriormente à etapa da definição das regiões de interesse e de posse das imagens previamente classificadas de forma supervisionada ou vetorizadas, utilizou-se o software de geoprocessamento Arc Gis 9.3 (ESRI, 2008) para organizar dados em SIGs (sistema de informação geográfica).

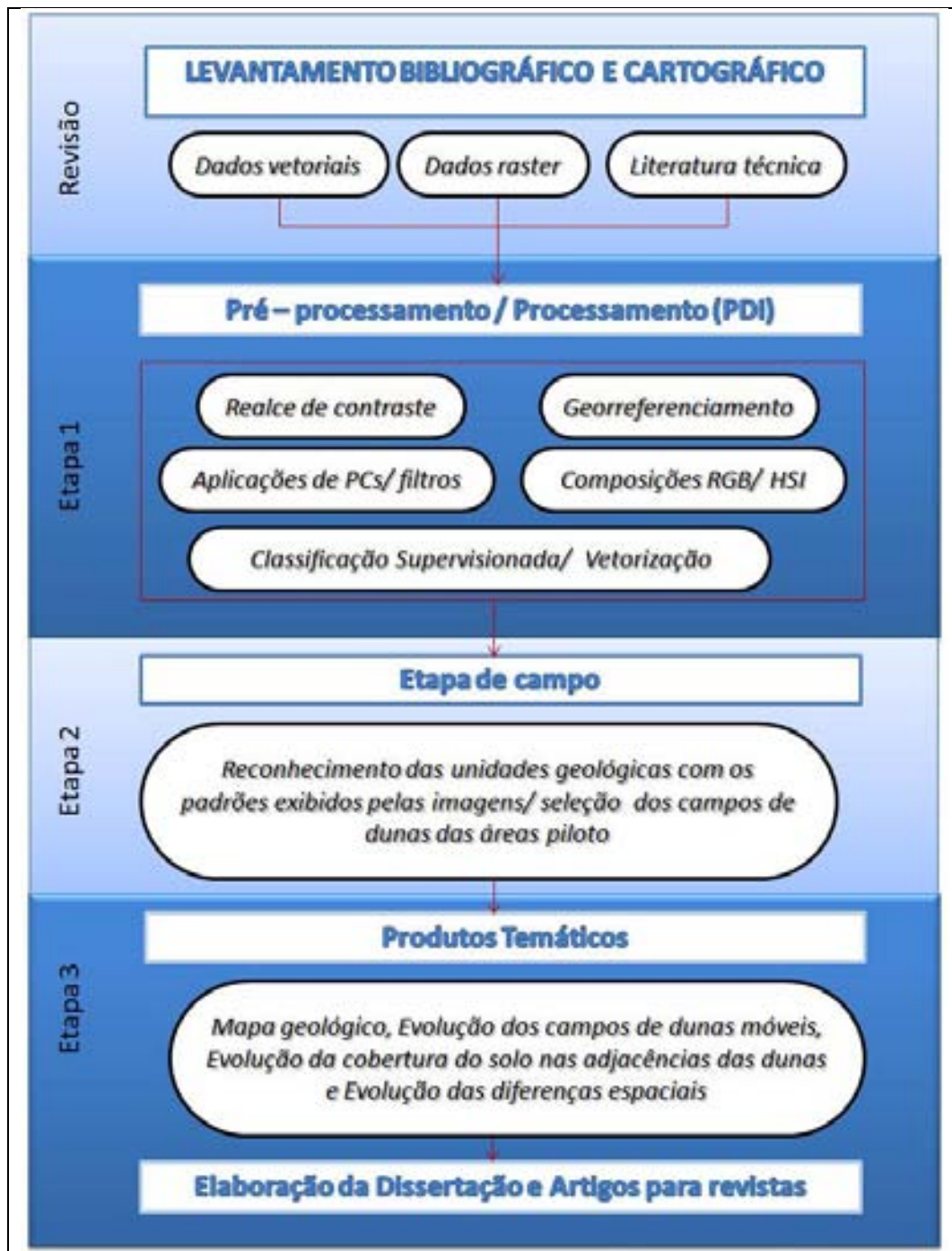
Os mapas temáticos criados permitiram discernir visualmente como, ao longo dos anos a paisagem foi modificada, em relação às coberturas definidas previamente: Duna móvel, Duna vegetada, Área urbana, Restinga e Recursos hídricos. Sendo assim os mapas temáticos são:

1. Geológico 1:100.000;
2. Evolução multitemporal dos campos de dunas móveis entre 1988 e 2007;
3. Mapa da quantificação das diferenças dos campos de dunas móveis entre 1988 e 2007;
4. Evolução temporal dos campos de dunas transgressivos entre 2006 e 1970 (mapeamento por classificação supervisionada);
5. Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajaú (classificação);
6. Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajaú (vetorização).

#### 4.10. Aplicabilidade dos métodos

Toda a metodologia empregada neste estudo permitiu um bom delineamento da pesquisa com o intuito de avaliar a hipótese que deu origem ao trabalho: A cobertura original dos campos de dunas ativos está diminuindo ou aumentando na perspectiva temporal e quais as suas possíveis causas? O sensoriamento remoto, as ferramentas de SIG, as técnicas de PDI, a coleta de dados in loco e a fundamentação teórica deram objetividade ao estudo, tornando-o conciso. A fig. (4.11) sintetiza a metodologia aplicada.

Figura 4.11 – síntese da metodologia.



A execução dos procedimentos de todas as etapas descritas na metodologia foram realizadas no Laboratório de Sensoriamento Remoto do PPGG (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica/UFRN) e no Laboratório de Estudos Geambientais (LEGEO/UFRN), que dispõem dos softwares aplicativos e estrutura necessária para realização deste trabalho.



# Capítulo 5

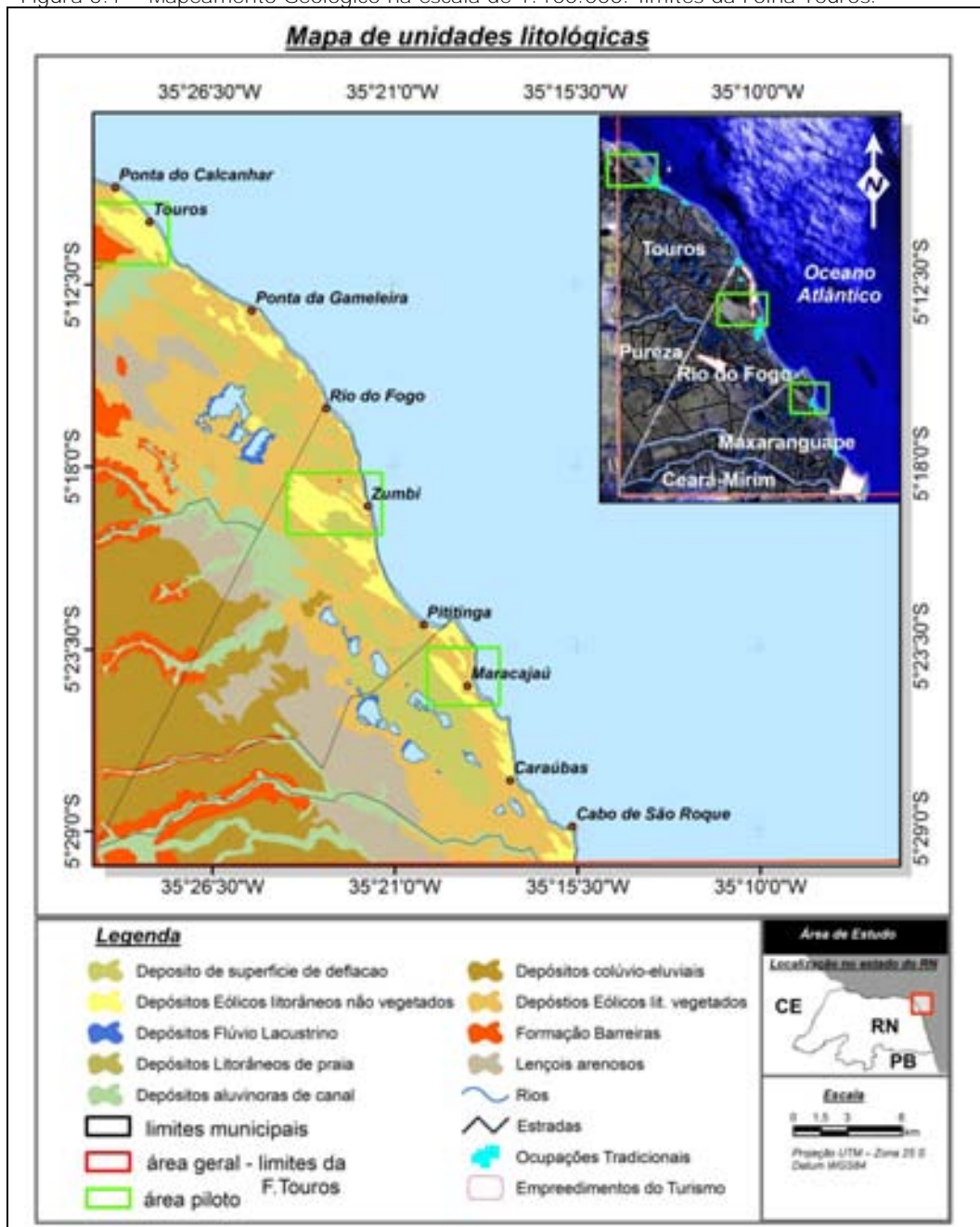


## V. Resultados obtidos:

### 5.1. Mapa Geológico

Os pontos marcados em campo e os afloramentos visitados permitiram reconhecer nove unidades geológicas: Depósitos litorâneos praias; Depósitos colúvio-eluviais, Depósitos eólicos litorâneos não-vegetados, Depósitos eólicos litorâneos vegetados; Depósitos fluvio-lacustrinos, Depósitos de superfície de deflação, Depósitos aluvionares de canal, Formação Barreiras, Lençóis arenosos arrasados (Fig. 5.1).

Figura 5.1 – Mapeamento Geológico na escala de 1:100.000: limites da Folha Touros.



Os produtos de sensores remotos empregados para edição desta carta temática foram Landsat 5(TM) e 7(ETM+) e fotos aéreas (tab. 4.1 - Metodologia).

Para se chegar à definição destas unidades foi usado como base, os parâmetros estabelecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que avaliam desde descrição da granulometria, cor, topologia (contato geológico), coordenadas geográficas, até a localização dos pontos de referência (toponímia) nas proximidades do afloramento de rocha encontrado. A etapa de mapeamento **geológico foi considerada como o "divisor de águas", por possibilitar reconhecimento sobre as feições geológico-geomorfológicas, permitir identificação das ocupações antrópicas do local, além de nortear o entendimento de que análise temporal deveria ocorrer sob o ponto de vista isolado dos campos de dunas móveis e sob a perspectiva da evolução da área adjacente as dunas. Essencialmente, desejava-se enxergar o que estava ocorrendo em termos espaciais com o entorno da cobertura sedimentar.**

#### 5.1.1. **Descrição das unidades em função das áreas piloto**

Em dezenas de anos, a dinâmica temporal é a princípio mais evidente nos Depósitos Eólicos Não-Vegetados e, para se notar a dinâmica temporal das outras unidades geológicas é sugestivo adotar metodologias que avaliem a idade, por exemplo. Neste sentido admitiu-se na pesquisa, que a análise temporal não seria feita em toda área que foi realizado o mapeamento geológico.

Depósitos Eólicos Vegetados: sedimentos eólicos quaternários, atualmente fixados pela vegetação natural. A presença de vegetação condiciona ao sedimento uma coloração escura devido à instalação de raízes de plantas nas dunas. O processo de decomposição da matéria orgânica na superfície destas unidades pode também ser considerado como outro fator responsável pelo escurecimento da coloração do sedimento (Amaral, 2008; Suguio, 1998; Suguio, 2003).

Depósitos Litorâneos de Praia: são depósitos eólicos lineares contínuos de areia, longitudinais a linha de costa. Geralmente, apresentam geometria de cordões ligeiramente sinuosos, ou em forma de terraços e rampa. (Amaral 2008, Suguio 1998). Nogueira (2008) coloca que esta unidade sedimentar sofre retrabalhamento constante, por processos marinhos e eólicos. Relevante admitir que estes depósitos na pesquisa, são representados geomorfologicamente pela cobertura sedimentar arenosa típica da formação das dunas frontais.

Depósitos Eólicos Não-Vegetados: são representados por sedimentos eólicos quaternários, estes depósitos são caracterizados por serem constituídos predominantemente por quartzo em forma de areias quartzosas, bem selecionadas e com grãos arredondados. Em superfície esta unidade encontra-se alongada, formando extensos cordões arenosos imprimindo ao relevo cristas alongadas orientadas segundo a direção NW-SE (Angelim, 2006; Amaral 2008; Suguio 1998).

Lencóis Arenosos: Apresentam origem eólica, sendo relacionadas a dunas arrasadas ou areias depositadas em lencóis. Barreto et al. (2004) chamam de lencóis de areia o domínio constituído por formas mais tênues ou dissipadas que os



demais, segundo ele, as feições de reativação são visíveis em imagens de satélites em todos os domínios de dunas inativas.

Depósitos de Superfície de deflação: são produzidas pela deflação, ação dos ventos sobre os terrenos a barla vento das dunas, caracterizados pela remoção de sedimentos desagregados até alcançar o nível base do lençol freático, produzindo uma superfície plana ou suavemente ondulada e pouco vegetada. Esta depressão do terreno pode acumular sazonalmente áreas úmidas e conter vegetação pioneira e gramíneas típicas da cobertura restinga (Amaral 2008, Cunha et al. 1990).

O levantamento dos afloramentos, a caracterização dos depósitos e contatos litológicos entre os mesmos, citadas nos parágrafos anteriores, nortearam a escolha das classes temáticas para mapeamento da evolução temporal dos campos de dunas móveis entre 1970 e 2006. Os recortes espaciais e a escolha das categorias temáticas são justificadas pela seleção dos depósitos eólicos em regiões sob influência das dunas frontais, pela iminência do crescimento da mancha urbana nas adjacências do sistema dunar e pelas mudanças na paisagem identificadas nas três áreas piloto.

## 5.2. Sensoriamento Remoto

### 5.2.1. Imagens multiespectrais

#### 5.2.1.1. Análise Multitemporal dos campos de dunas móveis - LANDSAT (1988, 1993, 2001 e 2007).

Os produtos temáticos apresentados neste tópico tiveram como base para mapeamento as imagens multiespectrais da série Landsat 5 TM e 7 ETM+. No sentido de "padronizar" as respostas espectrais em função das variações sazonais existentes, optou-se por imagens do mesmo período ou época do ano. Foram testadas varias combinações no sistema RGB e IHS, reforçadas pelas técnicas de PDI, as imagens que melhor realçaram aspectos e características dos campos de dunas nos produtos imagens, foram escolhidas para classificação supervisionada.

Na escala de 1:100.000 a análise temporal evidência mudanças nos padrões de disposição, migração e alterações quantitativas de área ocupada pelos campos de dunas. No ano de 1988 as dunas móveis apresentavam morfologia bem marcada, maior área de cobertura sedimentar, presença de possíveis ocupações urbanas tradicionais, apesar de modestas ou em pequena área de cobertura.

As cenas do sistema Landsat5/TM e 7ETM+ foram suficientes para cobrir toda faixa litorânea que corresponde a localização dos campos de dunas estudados. Esse fato permite a identificação do alvo pela visualização da disposição dos campos de dunas e pela sua resposta espectral específica. A identificação das dunas são facilmente extraídas de uma cena de satélite, o destaque acontece em função da assinatura espectral, estrutura sedimentar e composição mineral dos sedimentos presentes na duna. Sem nenhum processamento prévio é possível



visualmente reconhecer feições eólicas típicas de dunas. Por isso, é razoável extrair os polígonos representativos das dunas móveis por classificação estatística supervisionada, ao invés de vetorizar todas as manchas de cobertura de dunas uma por uma.

Conforme figuras 5.2; figuras 5.3 e tabelas 5.1 em 1988 a superfície não vegetada com elevada resposta espectral ilustraram os campos de dunas de maior área, são eles; o de Touros, Zumbi e de Maracajaú, eles estão nitidamente **"conectados" pelo cordão de dunas frontais. Estas dunas ativas de** menor porte representam ou exercem função de construir pontos de ligação entre as demais dunas interiores com maior área superficial e quantidade de sedimentos arenosos. Em 1993 percebe-se que esses pontos reduzem em número e algumas regiões chegam quase a desaparecer.



Figura 5.2 – Evolução multitemporal das dunas entre 88 e 93. Na escala de 1:100.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto.

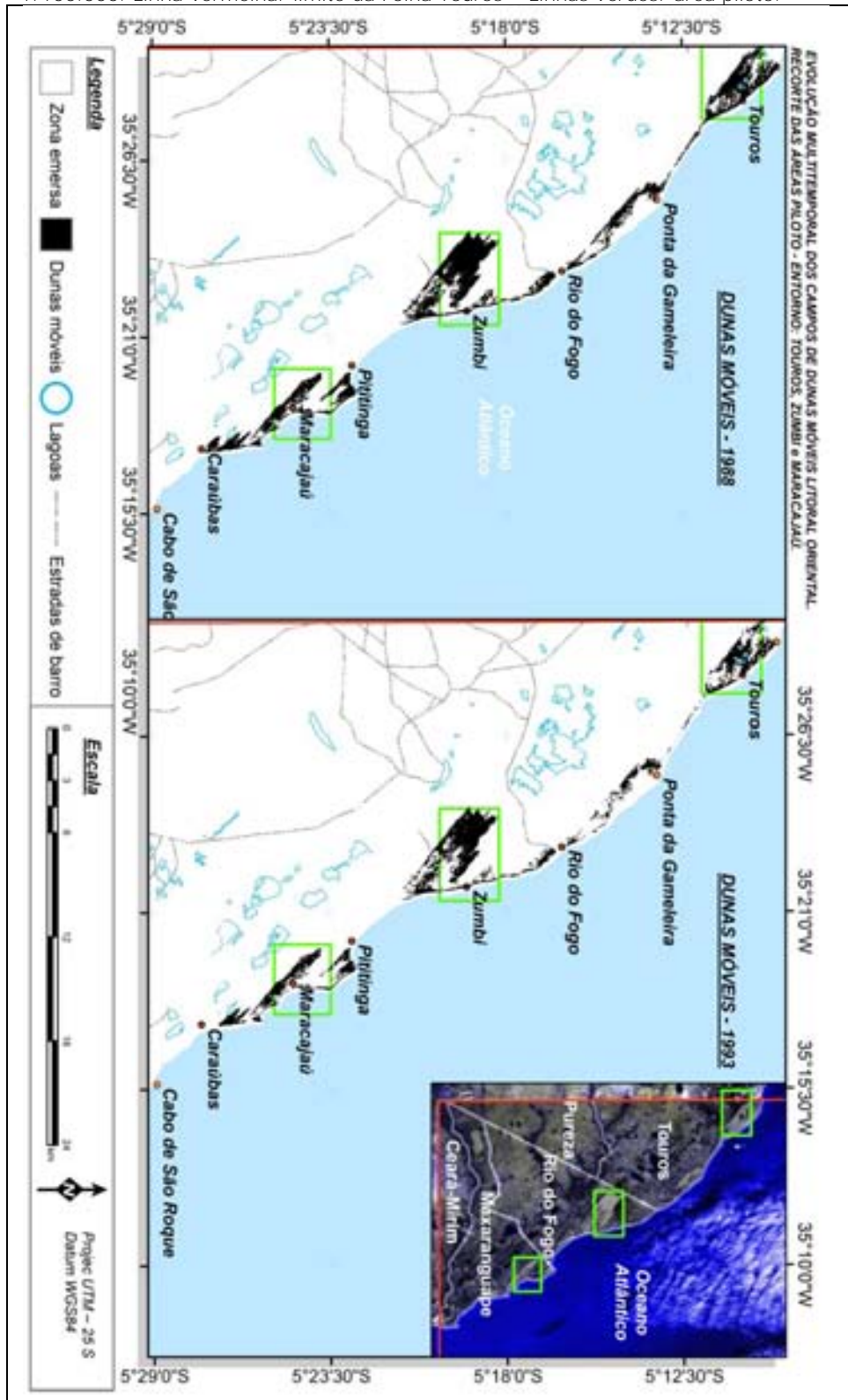


Figura 5.3 – Evolução multitemporal das dunas entre 2001 e 2007. Na escala de 1:100.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto.

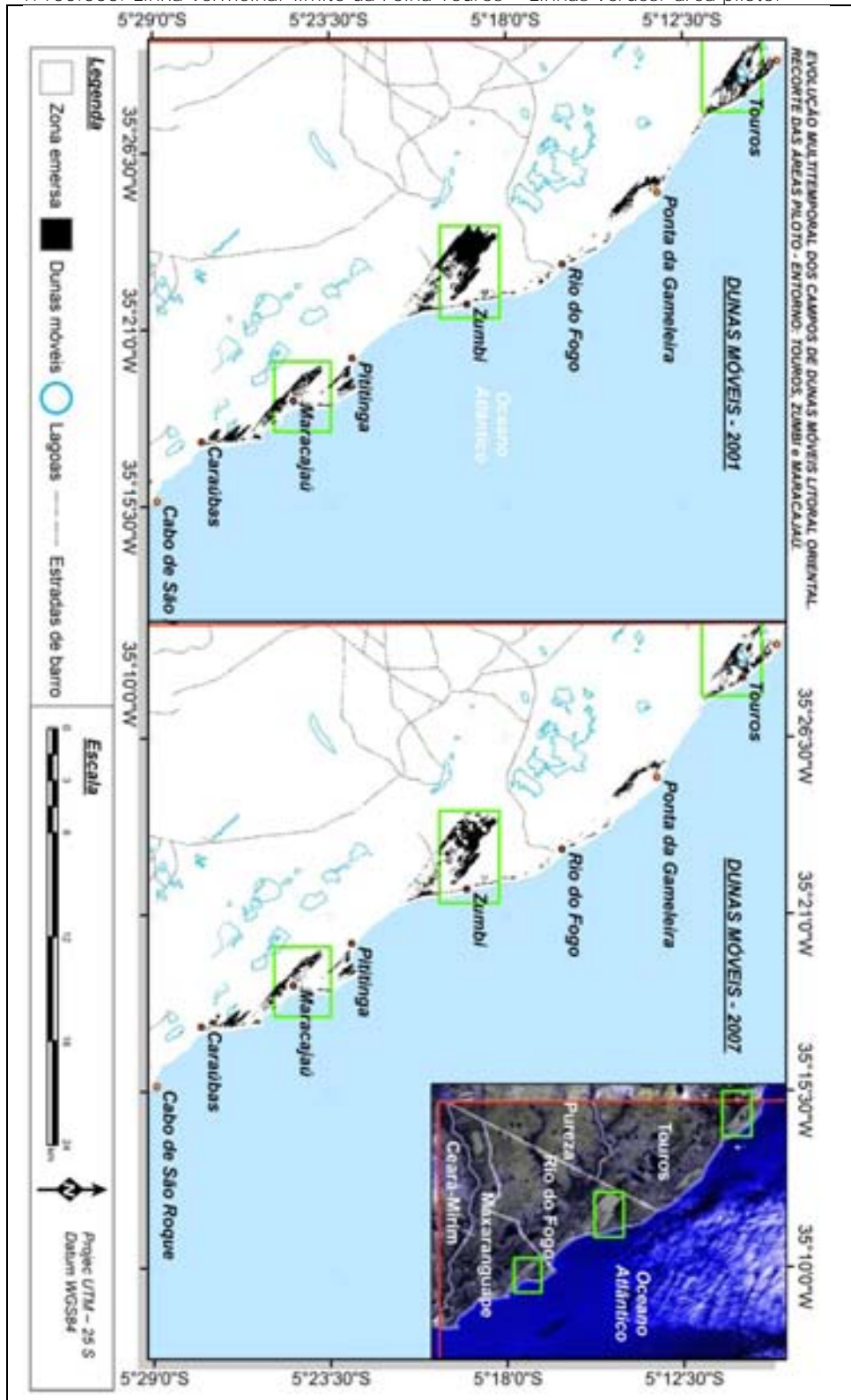


Tabela 5.1 – quantificação da área em cada ano. Diferença de área do ano inicial menos o ano seguinte, perspectiva multitemporal.

Dunas	km <sup>2</sup>	%	diferença	km <sup>2</sup>	%
<b>1988</b>	25,51	100	<b>88 - 93</b>	6,00	24
<b>1993</b>	19,51	76	<b>93 - 01</b>	2,55	10
<b>2001</b>	16,96	66	<b>01 - 07</b>	4,76	19
<b>2007</b>	12,20	48	<b>88 - 07</b>	13,31	52
Total	74,19	-	perda	13,31	52

As alterações temporais e espaciais dos campos de dunas são percebidas rapidamente após uma crítica análise visual, a classificação supervisionada ilustra bem a idéia da análise temporal e a quantificação, finalmente, calibra e fornece informação menos subjetiva quanto a perda ou ganho em área. As alterações nos padrões espaciais podem ser mais percebidas sob a perspectiva das diferenças temporais, isto ocorre quando são mapeadas áreas em processos de progressão em detrimento das regiões em regressão de cobertura. Em 1988, a superfície não vegetada equivale a 25 km<sup>2</sup>, depois de cinco anos houve uma perda aproximada de 6 km<sup>2</sup> (fig. 5.2; fig. 5.3). Esta tendência pode ser observada com mais detalhe conforme a figura (5.4) referente ao recorte da área piloto na região de Touros.

Entre 1993 e 2001, em oito anos, ocorreu à menor perda da superfície não vegetada (dunas móveis), em algumas áreas ao longo de todo litoral, observa-se que houve até crescimento de área, que pode ser explicado pelo aporte positivo de sedimento dentro dos campos de dunas mais representativos (Touros, Zumbi, Maracajaú), em outras palavras, apesar de ter ocorrido redução total da área coberta pelas dunas, houve simultaneamente acréscimo desta superfície não vegetada. Dos três períodos de tempo este foi o único que apresentou uma progressão em área de cobertura efetivamente representativa. Entre os dois intervalos de tempo, esta nova informação pode justificar a menor diferença, ou seja, a queda dos 19 km<sup>2</sup> para 16 km<sup>2</sup>, resultando em apenas 3 km<sup>2</sup> de área perdida (tab. 5.1). A figura (5.5) ilustra a tendência quanto ao balanço entre perdas e ganhos para área piloto em Touros.

No terceiro intervalo de tempo da análise multitemporal, ente 2001 e 2007, a diferença em área equivale a quase 5 km<sup>2</sup> (4,7k m<sup>2</sup>). Em 2001 a cobertura da paisagem campo de duna móvel compreendia cerca de 16 km<sup>2</sup> passando a 12 km<sup>2</sup> (tab. 5.1). Neste caso como entre 1993 e 2001, também houve aumento da área, todavia, na escala de mapeamento utilizada, não foi representativo. No entanto, para efeito de cálculo, apesar de expressar um pequeno valor, foi contabilizado nos resultados (tab. 5.1; fig. 5.3).

Os arranjos espaciais apresentados pelos campos de dunas móveis em Zumbi evidenciaram uma perda abrupta entre os anos de 2001 e 2007. Conforme a fig.(5.6) a porção frontal da duna, apresentou grandes espaços vazios que foram considerados pela análise das diferenças como área perdida (fig. 5.7). A princípio pode ter sido causado pelas limitações da classificação supervisionada. No entanto, foi nesse intervalo de tempo que as turbinas eólicas do parque eólico de Zumbi



foram instaladas. Apesar de não ser possível afirmar com precisão a causa da redução de superfície na duna da área piloto de Zumbi, são duas afirmações que podem explicar a regressão em área ocorrida.

Avaliando os acréscimos e perdas, evidentemente existe uma complexa dinâmica orientando os movimentos das massas de areia presentes nas dunas móveis que por hora introduzem sedimentos e depois retiram. De fato, os dados gerados indicam que a quantidade de sedimento que está sendo perdida não é **depositada, a duna não é "retroalimentada" novamente pela fonte de areia que vem da costa pela contribuição do cordão de dunas frontais paralelos à costa.**

Há determinadas hipóteses que tentam explicar este fenômeno: o aporte sedimentar pelas dunas frontais continua ocorrendo, entretanto ele pode ser bloqueado pelas ocupações urbanas antes de alcançar ou suprir a duna móvel. Outra explicação sugere que as condições climáticas naturais (direção das correntes, altura e frequência de ondas, amplitude de marés, etc) associadas ao aporte sedimentar de origem marinha para dunas frontais são insuficientes. Mesmo assim, a competência do vento é efetiva para mover as partículas sedimentares e o campo continua ativo migrando continente adentro. A desestruturação da duna frontal pela ocorrência de estradas e ocupação urbana sobre a mesma, provavelmente seja a causa de maior ocorrência. Em síntese não existe um fator isolado, eventualmente estes impactos podem agir em conjunto afetando diretamente a estrutura e manutenção das dunas frontais. Em Maracajaú a evolução multitemporal da paisagem costeira demonstra claramente que os cordões dunares frontais estão desaparecendo (fig. 5.8; fig.5.9). Isto implica da mesma **forma na redução dos "pontos de ligação sedimentares" existentes entre as dunas frontais distribuídas longitudinalmente em toda costa estudada (fig. 5.2; fig. 5.3).**

No intervalo entre 1988 a 2007, parece ter havido um balanço sedimentar negativo. Os resultados sugerem uma perda de área inicial em 13 km<sup>2</sup> quase 50% da cobertura original em 1988, que era aproximadamente 26 km<sup>2</sup>.



Figura 5.4 – Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Touros.

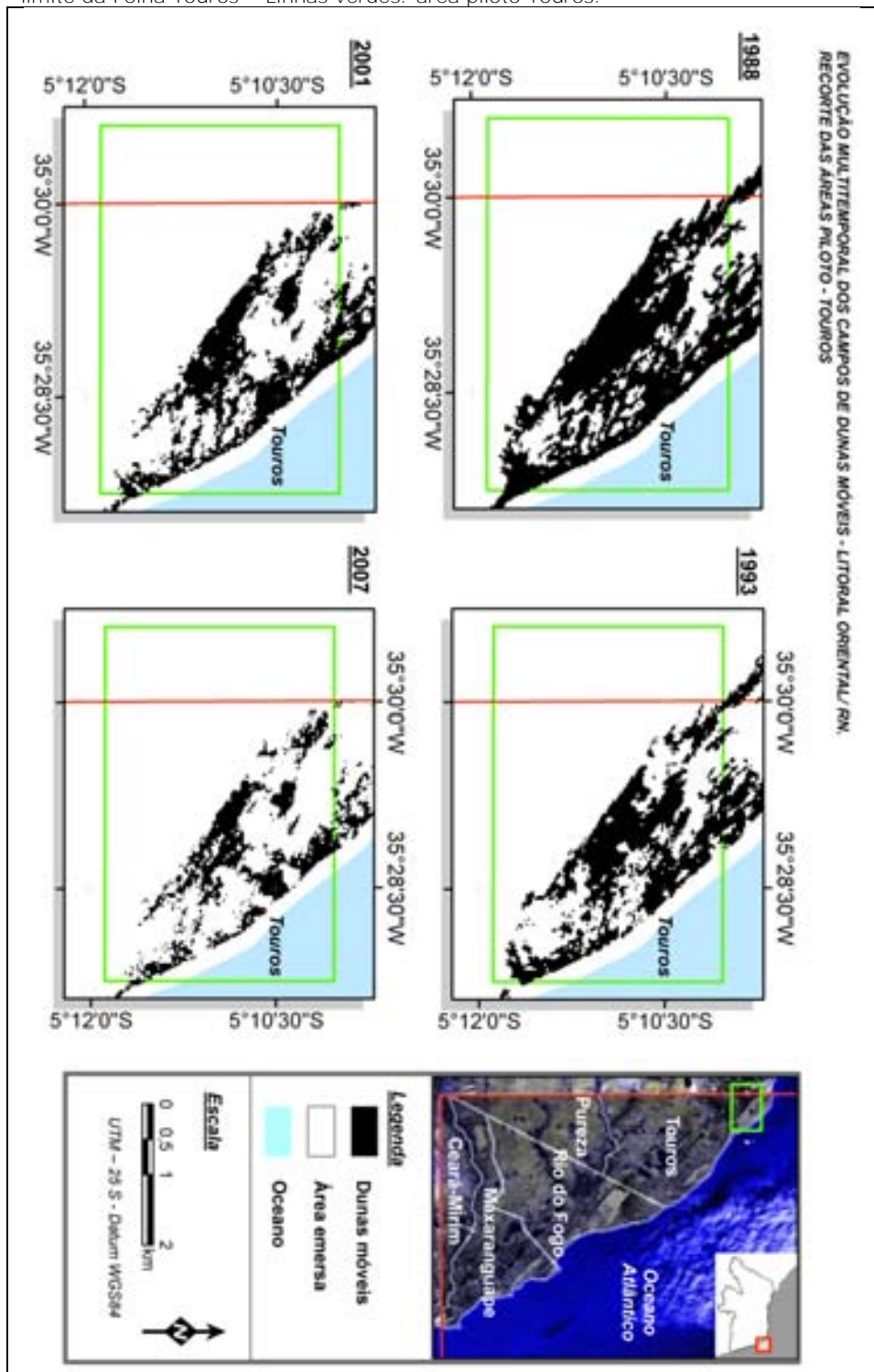


Figura 5.5 – Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Touros.

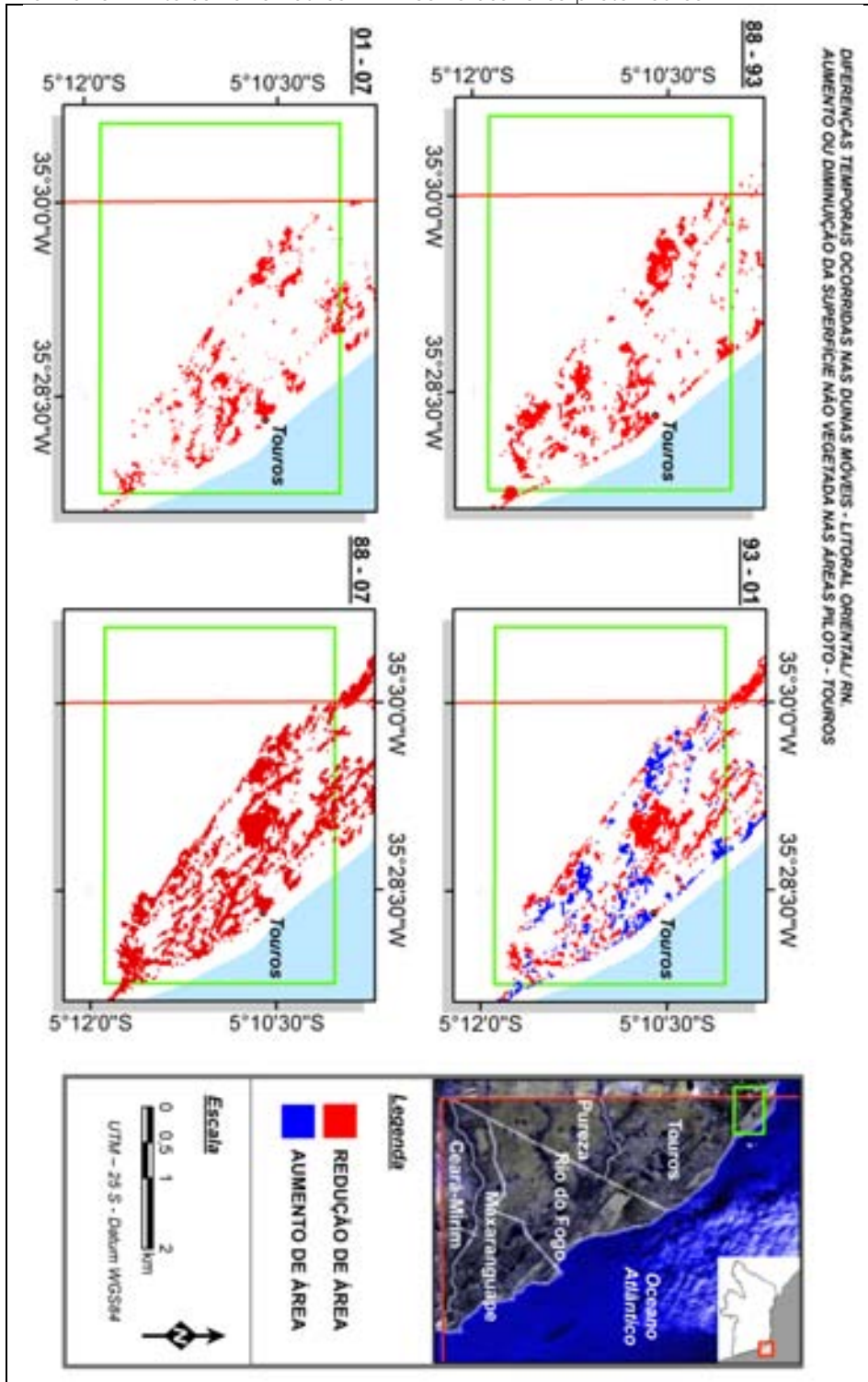


Figura 5.6 – Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Zumbi.

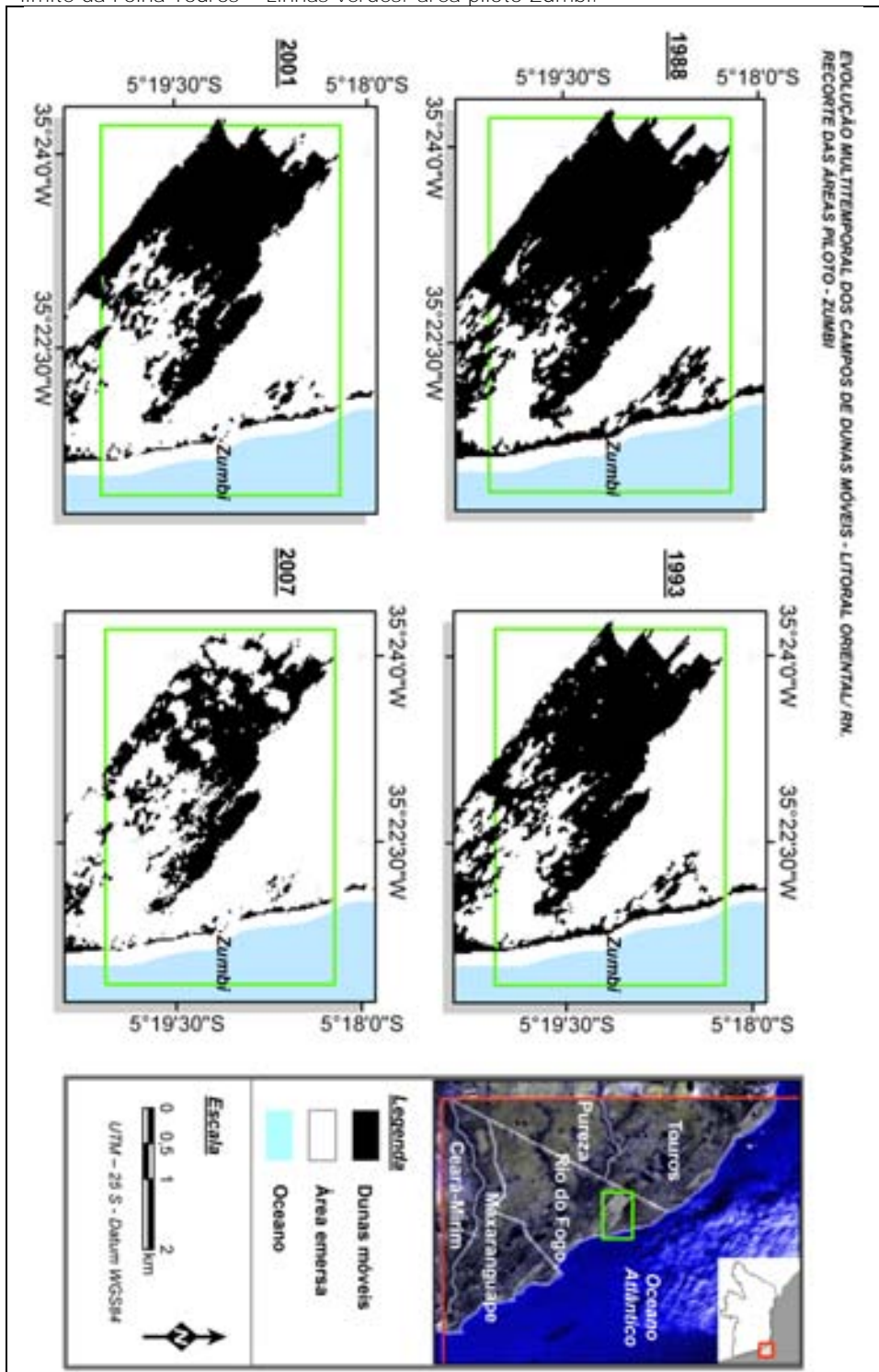


Figura 5.7 – Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Zumbi.

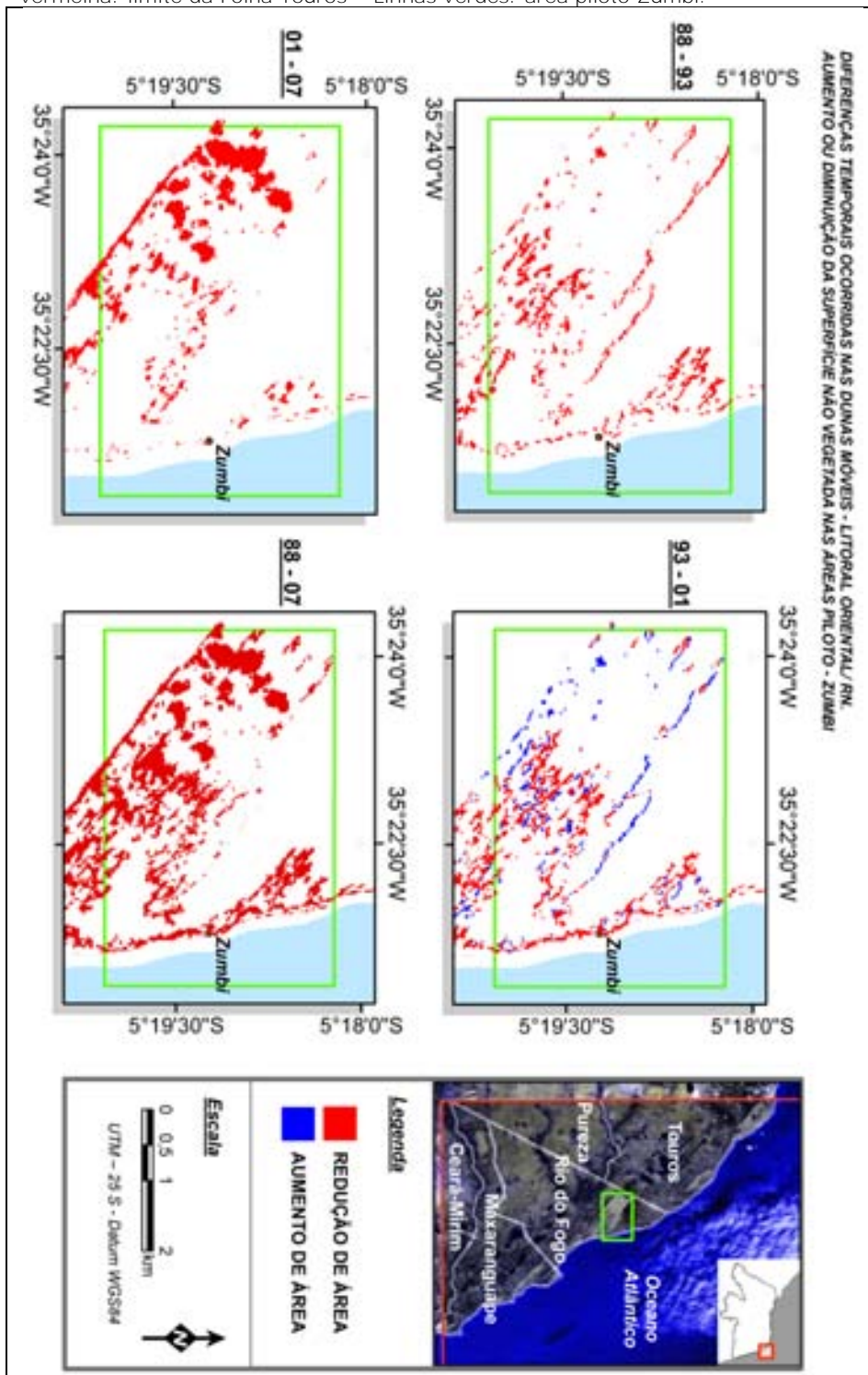


Figura 5.8 – Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Maracajaú.

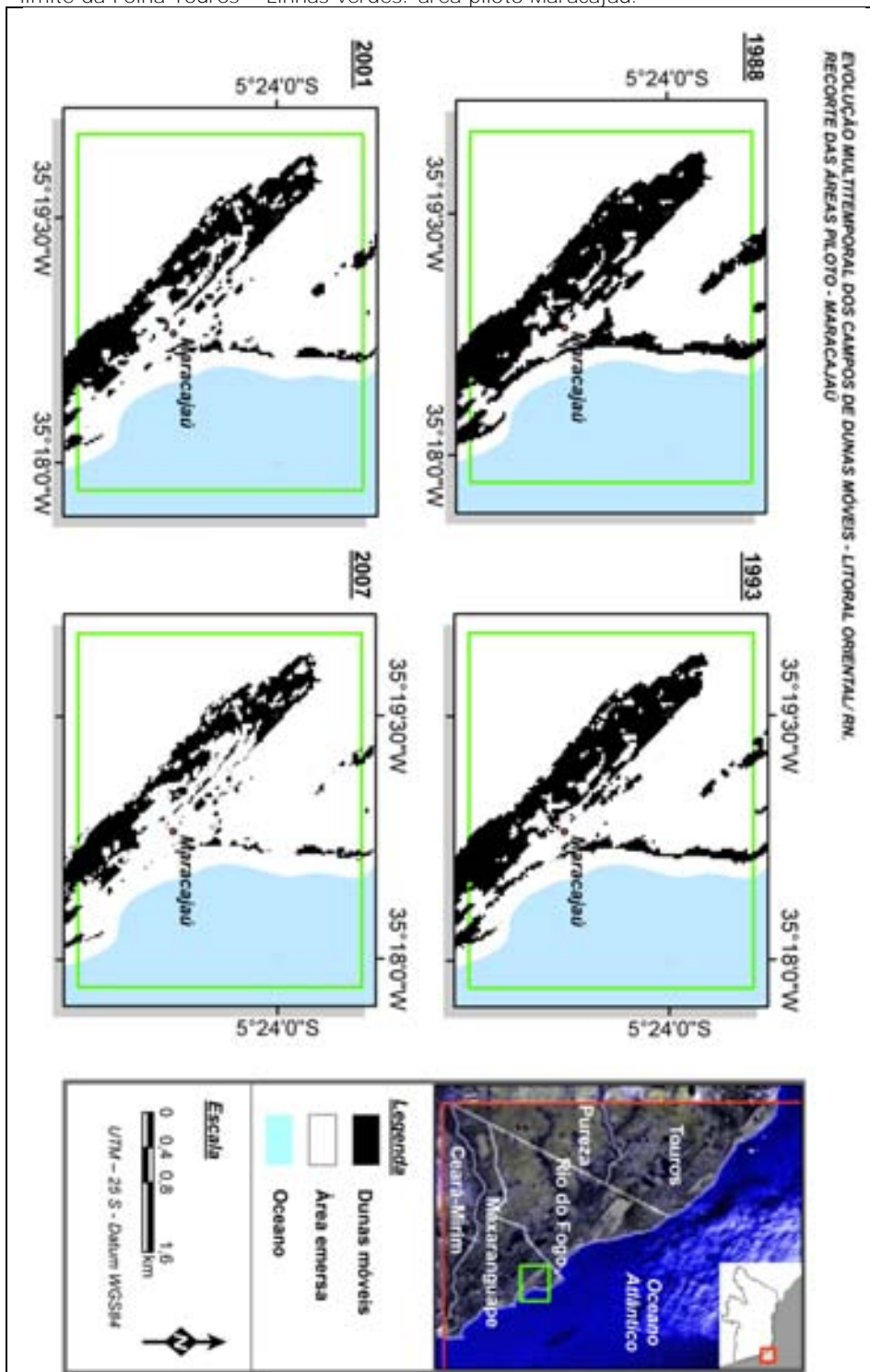
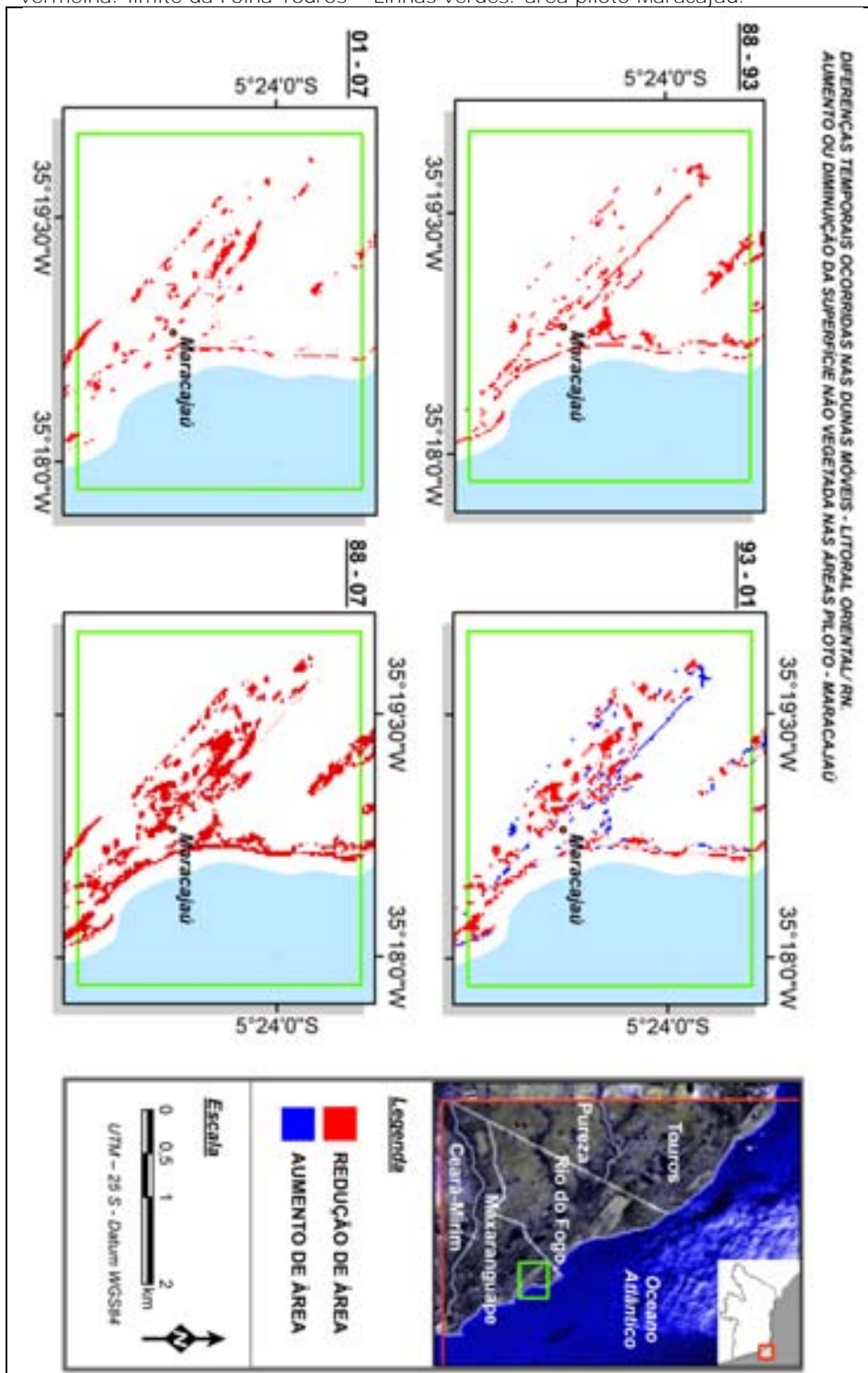


Figura 5.9 – Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Maracajau.



### 5.2.2. Fotografias aéreas

A paisagem costeira estendida do município de Ceará - Mirim a Touros é acompanhada de inúmeros campos de dunas, predominantemente parabólicas, com sutis diferenças em sua geomorfologia.

Além da forma, nota-se variação no que se refere a tamanho e quantidade. De fato existem cordões dunares bem ligados uns com os outros, alguns maiores em extensão territorial, além dos pequenos que podem representar pontes de ligação entre uma duna móvel e outra mais a norte ou sul, por exemplo. Numa escala de menor detalhe, após verificar os padrões espaciais exibidos pelas dunas com base nos produtos de sensores remotos multiespectrais (passivos do Landsat 5TM e 7ETM+), houve interesse de questionar se os produtos temáticos gerados a partir de outro tipo de imagem, em escala diferente (1:40.000) implicariam em resultados aproximados. Neste caso o recorte espacial dos campos de dunas das foi o mesmo adotado para as áreas piloto de Touros, Zumbi e Maracajaú (fig.5.1). As fotografias aéreas e os limites dos recortes das áreas pilotos podem ser vistas na figura (5.11) no item 5.3.

#### 5.2.2.1. Análise temporal dos campos de dunas móveis entre 1970 e 2006

Para os três campos de dunas de maior representatividade espacial (Touros, Zumbi e Maracajaú) ocorreram de fato perda em área. O mapeamento temático específico, por meio da classificação supervisionada reforça os resultados obtidos pela vetorização, onde área total foi minimizada ao longo dos 36 anos desta evolução temporal. Na análise da tabela (5.2) e figura (5.10) fica evidente que os valores encontrados também tendem a diminuição da superfície.

Tabela 5.2 - Tabela de quantificação dos campos de dunas móveis pelo método da classificação estatística supervisionada.

Campos de dunas	Classificação (km <sup>2</sup> )		Diferença	
	Ano 1970	2006	(km <sup>2</sup> )	%
Touros	5.866	3.641	2.225	38
Zumbi	8.680	4.662	4.018	46
Maracajaú	2.885	1.270	1.615	56
Total	17.431	9.573	7.858	45

De fato o efeito acumulativo induz a expectativa de que os padrões de disposição destes campos esta sofrendo perturbações que implicam em redução da sua cobertura original. A classificação mostra que o total de área perdida se aproxima dos oito Km<sup>2</sup>. Se for encarado como uma tendência em decorrência de eventos cíclicos naturais, esta evolução em tempos futuros pode implicar em uma nova retroalimentação de sedimentos, entretanto, se a causa efetiva da regressão for ação antrópica, estas perdas potenciais em apenas 36 anos, são indicadores

históricos preocupantes no que se refere à manutenção das dunas da região (fig. 5.10).

A tabela 5.2 demonstra claramente que em nenhum dos três campos de dunas a progressão foi maior que a regressão, em outras palavras, a entrada de sedimentos no campo de duna móvel sempre foi menor que o aporte. Por exemplo, em Maracajaú onde atividade turística de caráter litorâneo ainda hoje é intensa, a cobertura original corresponde a praticamente 3 km<sup>2</sup> em 2006 a cinco anos atrás a área já correspondia a 1,2 km<sup>2</sup>, quase 50% de perda.

Ocorridos 36 anos da análise, na região de Touros em 1970 a área encontrada corresponde diminuiu, a redução implica na perda aproximada de 2 km<sup>2</sup>. No campo de duna adjacente a praia de Zumbi, ocorreu a diferença mais significativa, no ano inicial os resultados revelaram total de 8 km<sup>2</sup> evoluindo para quase 4 km<sup>2</sup>, cerca de quatro mil metros quadrados em sedimentos de areia foram retirados do campo de duna. O cenário decrescente é repetido para o campo de dunas junto a costa de Maracajaú, houve redução em quase 2 km<sup>2</sup>. Em 70 a área representava praticamente três quilômetros caindo para um quilômetro e duzentos metros quadrados (Fig. 5.5; Tab. 5.2).

Em 1970, o total da cobertura original referente às dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú equivale a praticamente 17 km<sup>2</sup>, já em 2006 o somatório da área ocupada pelos três campos foi igual a 9 km<sup>2</sup>. Nessa perspectiva geral, as perdas nestas três regiões isoladas, incitam efeito acumulativo que implica na redução considerável de quase oito quilômetros de cobertura dunar (Tab. 5.2).

Guardadas as devidas limitações, as perspectivas históricas no mínimo servem de balizamento para elaboração de procedimentos que mitiguem as perdas sedimentares e viabilizem a migração natural da duna.





### **5.3. Dinâmica da paisagem no entorno dos campos de dunas móveis: Touros, Zumbi e Maracajaú entre os anos de 1970 e 2006.**

Um objeto qualquer sendo representado espacialmente pode sem dúvida mudar no tempo. Tematicamente, uma área vegetada pode ser reclassificada em solo exposto ou um campo de duna móvel pode ser invadido por ocupações tradicionais e se transformar em área urbana. Para mapas produzidos a partir de imagens de satélites, é importante perceber que as mudanças de cobertura do solo passam por transições onde cada unidade da paisagem influencia mutuamente as coberturas vizinhas (Pozo-Díaz, 1999). Evidentemente, analisar a dinâmica temporal dos campos de dunas ativos dentro do mosaico do entorno dos campos de dunas móveis, implicará em tendências sutilmente distintas. Mesmo assim, a interpretação de um alvo de forma individual não invalida os resultados obtidos pela dinâmica espacial deste mesmo alvo numa paisagem espacialmente heterogeneia. Esta premissa foi admitida na presente pesquisa acadêmica.

Sendo assim, os resultados quantitativos dos valores de cobertura aérea espacial para os campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú foram diferentes dos apresentados no item anterior, quando os mesmo foram avaliados de forma individual. Faz-se questão de ressaltar esta peculiaridade porque apesar das contestações quantitativas, qualitativamente o fator preponderante expõe o mesmo cenário de regressão da área ocupada pelas dunas livres.

Com foco nas repostas quantitativas e qualitativas dos padrões espaciais, objetivou-se entender a dinâmica de uso e ocupação do solo numa escala de maior detalhe. A escala de mapeamento foi de 1:40.000 para todos os produtos temáticos gerados tanto para o anos de 1970 e 2006. Isso implica dizer que os mapas de Touros, Zumbi, Maracajaú (TZM) confeccionados a partir das fotografias aéreas estão fixados na mesma escala (fig.5.11).

Os mapas de uso e cobertura do solo foram classificados em seis temas:

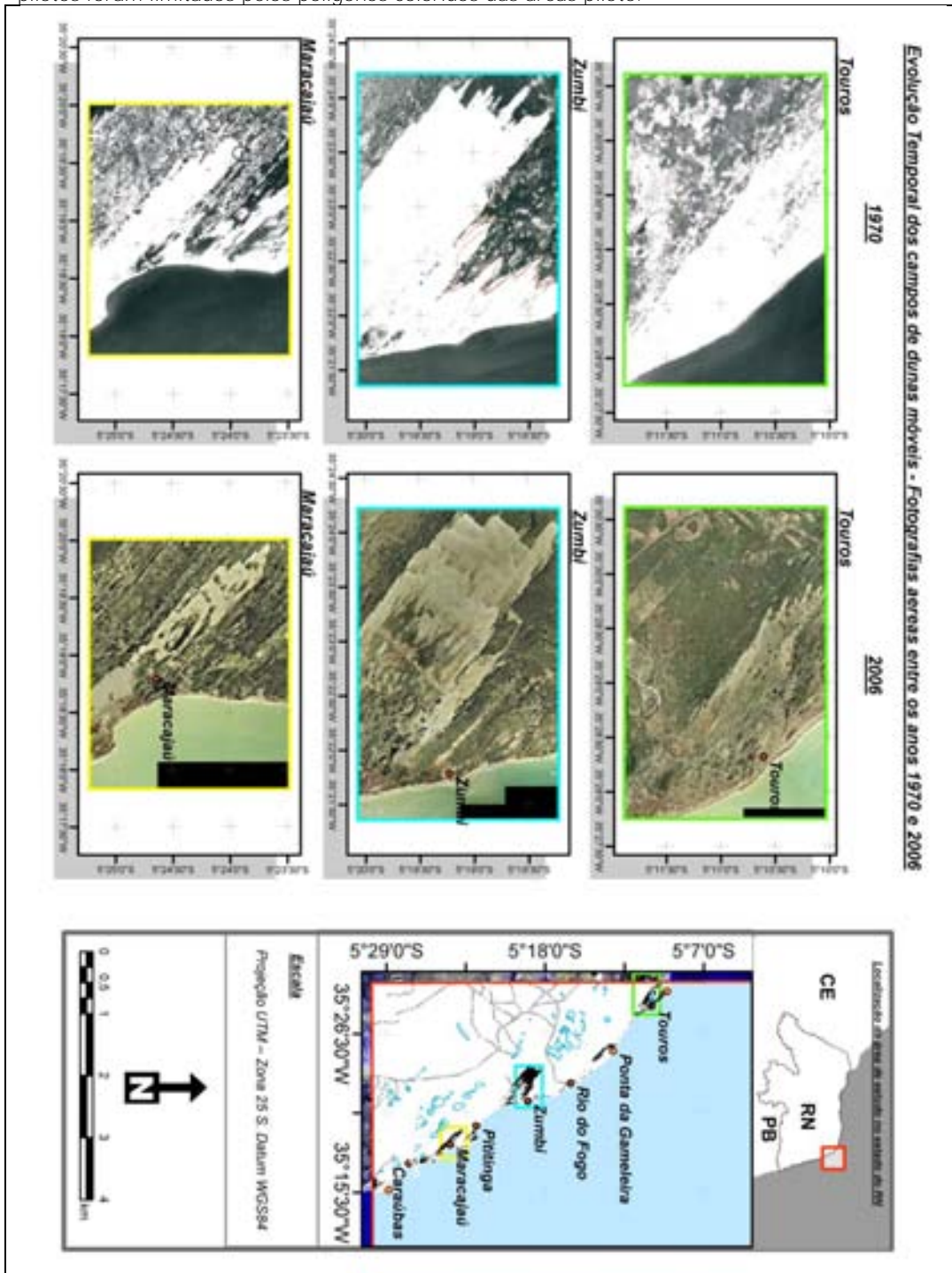
- ❖ Área urbana
- ❖ Duna móvel
- ❖ Duna vegetada
- ❖ Restinga
- ❖ Recursos hídricos
- ❖ Lagoas

Os critérios topológicos e a definição das classes temáticas foram dependentes da seguinte interpretação: Área urbana mapeada correspondeu à presença das ocupações tradicionais, sedes urbanas, empreendimentos turísticos. Admite-se neste trabalho que áreas referentes às atividades agrícolas são de ordem antrópica e quando encontradas, foram quantificadas na classe da mancha urbana. Duna móvel representa duna ativa de areia com morfologia nítida preservada e sedimentos arenosos livres. Duna vegetada identificada pela morfologia nítida preservada e presença da vegetação arbórea em topografia elevada. Restinga, morfologia arrasada de caráter suave a plano, marcada pela presença de formação vegetal do tipo gramínea e/ ou vegetação de porte arbustivo. Recursos Hídricos



englobam área do oceano inserido nos limites do polígono somado a drenagem superficial. Lagoas representam reservatórios de águas continentais emersos passíveis de mapeamento quando presentes.

Figura 5.11 – Fotografias aéreas entre os anos de 1970 e 2006. Os campos de dunas das áreas pilotos foram limitados pelos polígonos coloridos das áreas piloto.



## 5.4. Cartas Temáticas geradas.

### 5.4.1. Produto temático gerado pela estatística supervisionada.

A quantificação dos resultados observados foi limitada espacialmente por três polígonos regulares que demarcaram as áreas pilotos de Touros, Zumbi e Maracajaú. Respectivamente esta área corresponde a 18, 18 e 12 km<sup>2</sup> (tab. 5.3).

Tabela 5.3 - Tabela de quantificação de cobertura do solo pelo método da classificação supervisionada MaxVer.

Campo de Duna (km <sup>2</sup> )	1970	2006	1970	2006	1970	2006	*diferenças (2006 - 1970)		
	T	T	Z	Z	M	M	T	Z	M
Área urbana	1,08	1,58	1,49	2,36	1,13	1,25	0,50	0,87	0,13
Duna móvel	7,08	5,75	8,84	6,25	3,51	2,02	-1,33	-2,59	-1,49
Duna vegetada	3,32	5,22	3,44	4,63	1,22	2,87	1,90	1,19	1,65
Restinga	3,97	1,91	2,04	1,94	3,45	3,90	-2,06	-0,10	0,46
Rec. Hídricos	2,67	3,65	2,35	2,99	3,74	2,99	0,99	0,64	-0,75
total	18,12	18,12	18,16	18,16	13,04	13,04	-	-	-

\*valores negativos implicam em regressão de área ocupada.

\*valores positivos implicam em progressão de área ocupada.

Neste tipo de representação, a forma, configuração e o tamanho dos elementos da paisagem, são construídos para cada mancha da paisagem, que por sua vez ilustram tematicamente um conjunto de células contínuas de mesmo valor ou atributo. Esta análise é inteiramente compatível com os produtos de sensores remotos fornecedores frequentes de informações temporais de alterações na paisagem.

No primeiro instante, avaliar a dinâmica espaço-temporal da mesma região circunjacente aos mesmos campos de dunas ativos pode causar certa redundância ou desconforto desnecessário. Entretanto, neste campo de pesquisa, probabilidades que configuram alterações dos atributos do meio ambiente através do território geográfico podem auxiliar o entendimento de como os sistemas geoambientais evoluem a luz dos promissores modelos computacionais. Por esta razão os produtos temáticos matriciais gerados a partir da classificação supervisionada das fotografias, além de minimizar as incertezas produzidas pela vetorização de interpretação pessoal, igualmente pode gerar informações pertinentes quanto área superficial dos campos de dunas móveis dentro do mosaico de cobertura do solo. Diante de resultados gerados por duas técnicas de interpretação diferentes será possível testar se a hipótese do trabalho é válida (ou não).

Observa-se que de fato existem extrapolações geradas pelo processamento de dados que não condiz com a realidade natural, devido obviamente, as limitações dos programas e imprecisões causadas pela inaptidão de usuários que alimentam o programa. Uma das complicações encontradas nesta análise foi em primeiro lugar vinculada à heterogeneidade espacial que limitou a definição dos limites topológicos



(visivelmente notada nos temas mapeados). Por exemplo, a cobertura área urbana corresponde e predominou espacialmente onde classificada, no entanto, dentro campo de duna móvel (onde era pra existir apenas sedimentos de areia) encontrou-se pequenas manchas de área urbana, certamente uma relativa imprecisão. A segunda limitação esteve em separar a unidade oceano/rec. hídricos da classe lagoas. Por este motivo, foi admitido que, a categoria recursos hídricos englobaria a cobertura oceano e águas continentais. Mesmo assim, principalmente em função da resposta espectral da areia realçada nas dunas, a classificação **supervisionada do tipo "MaxVer", viabilizou a produção de cartas temáticas** representativas das três regiões. As limitações dos métodos permitem sugerir que os resultados gerados quando discutidos, podem ser considerados complementares, ou seja, uma análise não invalida a outra e sim contribui para fechar lacunas.

#### 5.4.1.1. **TOUROS**:

Na década de 70, a cobertura do solo no entorno deste campo de duna é marcada por uma paisagem composta predominantemente por duas categorias; duna móvel e restinga. Juntas, com 11 km<sup>2</sup>, elas dominam mais de 50% do mosaico. Em contra partida, percebe-se que a transição para 2006 produziu um mosaico onde o arranjo espacial destas unidades geoambientais é bem mais complexo (fig. 5.12; tab. 5.3).

Área urbana representou cerca de 1 km<sup>2</sup> de área ocupada, dispostas em pequenas manchas entre o contato duna móvel e restinga. Apesar de não haver um aglomerado de concentração urbana restrito a um lugar específico, as formas regulares (em imagens de satélite estradas que se cruzam formando retângulos bem definidos) foram potencialmente classificadas e reconhecidas como tema Área urbana. Os dados quantitativos permitem verificar que ocorreu crescimento urbano, em torno de 0,5 km<sup>2</sup>, qualitativamente, o aumento concentrou-se a sudeste do mapa, a barlavento do campo de duna móvel (fig. 5.12).

Necessariamente, a classe duna móvel, foi categoria que teve o arranjo espacial mais alterado, antes era uma cobertura uniforme, topologicamente bem definida, atravessando os limites da paisagem de ponta a ponta. Em 2006; tornou-se um resquício de duna geomorfologicamente não preservada quanto a forma original. Boa parte do que era sedimento arenoso cedeu lugar as dunas vegetadas e restinga, esta em algumas regiões do entorno permaneceu inalterada, todavia a perda de dois quilômetros quadrados em área sugere que a vegetação apresenta-se fragmentada ou em processo de fragmentação (fig. 5.12).

A cobertura que corresponde aos recursos hídricos (em 1970) apresentou uma inesperada resposta equivocada. Dentro dos limites que logicamente correspondem à região submersa (oceano) um considerável polígono verde foi classificado como restinga, em condições normais esta ocorrência não é comum. Efetivamente, a falha consiste nas limitações do software de processamento que **neste caso "entendeu" uma pluma de sedimentos arenosos presentes no mar como vegetação restinga**. Admite-se o erro quantitativo de aproximadamente 747 m<sup>2</sup> que devem ser retirados do total da cobertura restinga e somados aos valores de recursos hídricos. Mesmo após retificação admite-se que os valores superestimaram



a evolução dos recursos hídricos que não deveriam ter sido tão discrepantes (fig. 5.12).

#### 5.4.1.2. **ZUMBI:**

O ordenamento territorial nas adjacências da duna móvel da praia de Zumbi permite verificar que no decorrer da evolução temporal o arranjo espacial do campo de duna tende a permanecer, enquanto a disposição das demais unidades geoambientais sofrem fortes modificações. Área urbana apresenta tendência a crescimento. Ela evolui em torno de 800 m<sup>2</sup> passando a ocupar uma zona contínua ao longo da linha de costa, onde a mesma está visivelmente localizada na porção leste (norte a sul). Interessante perceber que a transição de área urbana pode estar fortemente correlacionada com alterações na dinâmica do campo de duna móvel. Nota-se que o extenso cordão dunar adjacente a linha de costa em 1970 foi totalmente tomado pelo avanço urbano e presença das dunas vegetadas (fig. 5.12; tab. 5.3).

O cenário apresentado em Maracajaú merece especial atenção, por representar a região que sofreu o maior impacto negativo em função da diminuição em área superficial e potencial interrupção do aporte sedimentar fornecidos pelas dunas frontais, conectadas à praia. Decorridos 36 anos, nota-se perfeitamente alterações nas bordas do campo de duna na sua porção distal (sentido continente adentro – **noroeste do mosaico**). Em 1970, representavam “setas agudas” indicadoras da contínua migração promovidas pela deposição de areia na face de avalanche da duna, porém em 2006, estas feições sedimentares são inexistentes, foram recortadas da paisagem, permanecendo retilíneas. Em termos quantitativos, esta regressão implica em dois quilômetros e seiscentos metros quadrados de área perdida ou substituída. Tanto nos mapas quanto nas fotografias aéreas é nítida a perda superficial, os valores numéricos apenas complementam os resultados de uma análise intuitiva e visual (fig. 5.12; tab. 5.3).

A duna vegetada cresceu em torno de 1 km<sup>2</sup>, em sua maior parte substituindo o que era sedimento arenoso oriundo do campo de duna. A princípio, a vegetação restinga, parece não influenciar a dinâmica temporal deste mosaico. Ela permaneceu situada nos mesmos limites próximos a porção frontal da duna (sotavento), mesmo que fragmentada (fig. 5.12).

No que se refere a recursos hídricos admite-se que os valores quantificados foram superestimados. Primeiramente, pela presença de um polígono categorizado como área urbana, dentro do oceano. Em segundo, porque não existem evidências suficientes para afirmar que algumas áreas baixas classificadas como corpos d’água aflorantes são de fato pequenas lagoas. Em termos quantitativos teriam que ser retirados da área urbana cerca de 460 m<sup>2</sup> e acrescentados a classe recursos hídricos.

#### 5.4.1.3. **MARACAJAÚ:**

Nesta localidade a tendência da evolução dos cenários no mosaico da paisagem costeira é bem parecida com a dinâmica dos campos de dunas anteriores. A área urbana tendeu ao crescimento desordenado ocupando situado ao longo da



linha de costa, substituindo as dunas frontais. As diferenças entre 1970 e 2006 demonstram crescimento em torno de 130 m<sup>2</sup>. Neste caso, as limitações e erros potencias da classificação, permite admitir que para áreas urbanas, os valores da quantificação estão superestimados. De fato, manchas de área urbana inseridas na unidade recursos hídricos e restinga, fazem parte do que tematicamente é representativo de oceano e restinga (fig. 5.12; tab. 5.3).

A faixa litorânea que conectava o campo de duna ao longo da linha de costa foi substituída pelas ocupações urbanas. A evolução temporal implicou na perda de 1,5 km<sup>2</sup> de estoque sedimentar que fazia parte da cobertura inicial (fig.5.12).

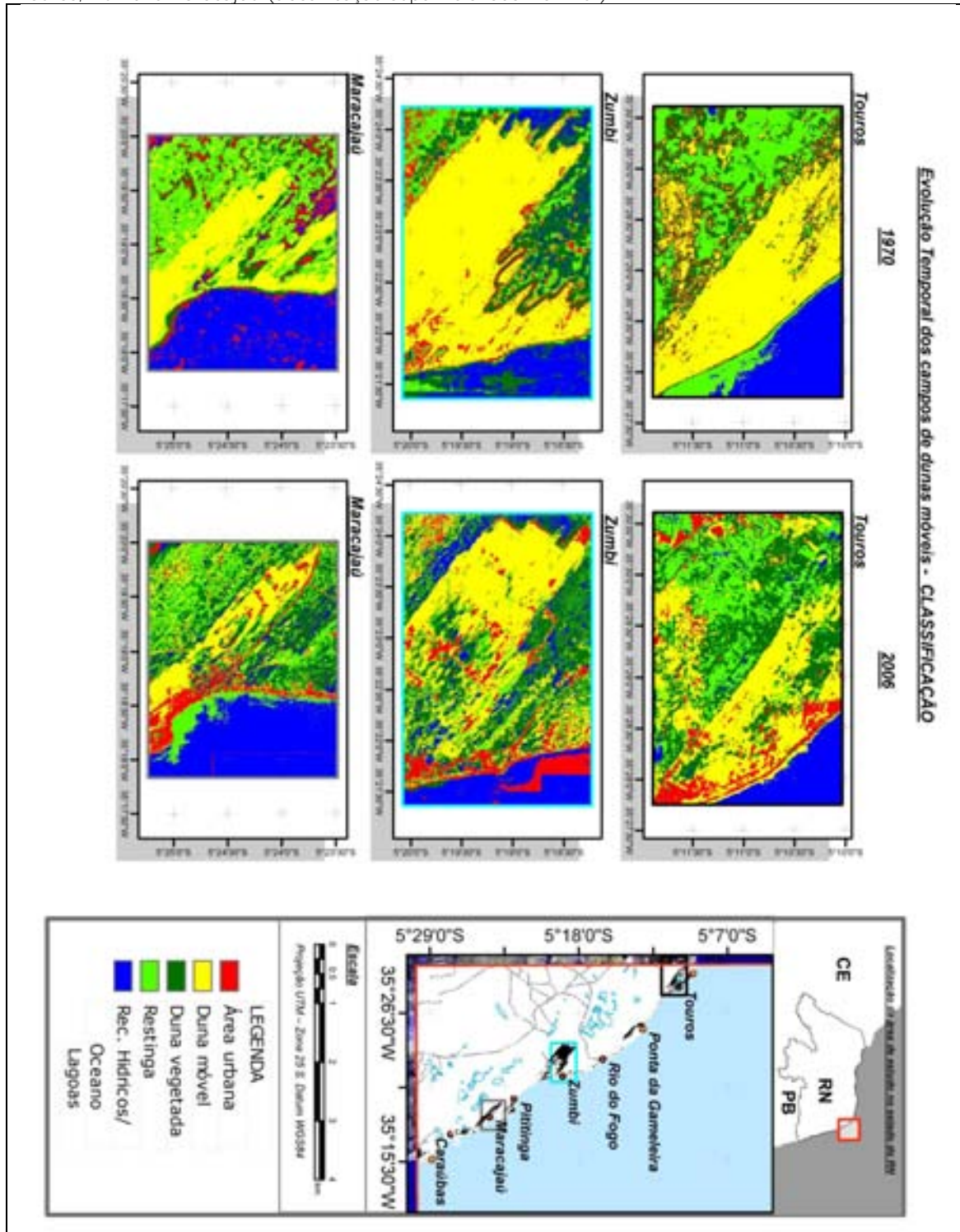
Geomorfologicamente, em 2006, o campo de duna livre ainda preserva forma típica de uma feição eólica parabólica, entretanto, existem lacunas que potencialmente em função do rebaixamento (superfícies cavadas) podem ser interpretadas como bacias de deflação presentes nos espaços interdunares que se desenvolveram a medida que o estoque sedimentar diminuía. Importante perceber que a forma alongada, estreita em relação a 1970, permite inferir que este campo de duna continua dinâmico migrando ativamente no continente. Evidencia confirmada pelo posicionamento da face de avalanche a sotavento da duna, que em 2006 está localizada bem mais adentro do continente do que na década de 70 (fig. 5.12).

Em relação à cobertura Restinga, a transição implica em sutis modificações quanto à disposição desta cobertura no mosaico costeiro. Para Maracaju, a evolução temporal do alvo exerce mínima influência nos arranjos espaciais e nas alterações dos padrões da paisagem em questão. Os valores quantitativos demonstram um acréscimo de área em torno dos 460 m<sup>2</sup>. Especialmente ela predomina dentro do mesmo limite topológico, mas apresenta-se fragmentada na porção nordeste, sendo basicamente substituída pela classe duna vegetada. Como nos outros casos este dado foi superestimado. É evidente que não deve haver restinga mergulhada do oceano, este resíduo (polígono) ou erro admitido, foi o mesmo ocorrido com a região de Touros para o ano de 1970, onde uma pluma de sedimentos costeiros foi interpretada como vegetação do tipo restinga (fig. 5.12).

Cerca de 520 m<sup>2</sup> da categoria restinga quando somados ao correspondente tema recursos hídricos, implica na progressão da restinga seria em apenas 60 m<sup>2</sup> e o avanço em área dos recursos hídricos igual a 230 m<sup>2</sup>. Feito isso, nota-se que tanto restinga quanto recursos hídricos permanecem praticamente constantes sem alterações quantitativas e qualitativas expressivas para o mosaico desta paisagem. Importante lembrar que na região sudoeste (canto inferior direito) para os dois anos da análise, os produtos temáticos gerados pela classificação supervisionada, foi suficiente para reconhecer alguma porção de água presente no continente como duas feições representativas de lagoas (tab. 5.3).



Figura 5.12 – Mapa da Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajau (classificação supervisionada Max Ver).



#### 5.4.2. Produto temático gerado pelo método de interpretação visual com vetorização.

Os resultados quantitativos adquiridos estiveram limitados espacialmente ao polígono regular de área total igual a 18, 18 e 12 km<sup>2</sup>, respectivamente, para Touros, Zumbi e Maracajaú (tab. 5.4).

Tabela 5.4 - Tabela de quantificação de cobertura do solo pela interpretação visual com vetorização.

Campo de Duna (km <sup>2</sup> )	1970		2006		1970		2006		*diferenças (2006 - 1970)		
	T	T	Z	Z	M	M	T	Z	M		
Área urbana	0,99	3,17	0,26	0,43	0,12	1,68	2,18	0,17	1,56		
Duna móvel	6,61	4,77	9,79	4,97	3,33	1,44	-1,84	-4,82	-1,89		
Duna vegetada	3,60	0,57	3,36	7,27	2,15	4,86	-3,04	3,91	2,72		
Restinga	3,45	7,33	1,69	2,74	3,21	0,59	3,88	1,05	-2,61		
Rec. Hídricos	3,47	2,28	3,07	2,76	4,13	4,29	-1,19	-0,31	0,15		
Lagoas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,18	0,00	0,00	0,07		
total	18,12	18,12	18,17	18,17	13,04	13,04	-	-	-		

\*valores negativos implicam em regressão de área ocupada.

\*valores positivos implicam em progressão de área ocupada.

##### 5.4.2.1. **TOUROS:**

As concentrações urbanas encontradas na localidade indicaram crescimento na ordem de três vezes. Para esta cobertura da paisagem, o aumento nos valores já era esperado em função dos aglomerados urbanos que são formados no entorno de dunas e zonas costeiras. Neste caso, admitiu-se que algumas áreas representativas de atividades agrícolas deveriam ser quantificadas e consideradas como áreas urbanas. Por se tratar de uma ocorrência isolada, identificada exclusivamente em Touros e apenas em 2006, estes valores foram somados. Em termos espaciais, a ocorrência efetiva das ocupações urbanas está fazendo contato com a duna móvel. A porção a oeste das áreas urbanas, "mergulhada" na unidade restinga, representa as áreas cobertas por agricultura.

Nota-se visivelmente (fig. 5.11) nas fotografias aéreas que as dunas móveis evoluíram no sentido da transgressão. As dunas ativas, perderam pouco menos 2 km<sup>2</sup>, onde havia cobertura sedimentar arenosa em 2006 transitou para mancha de área urbana e uma de restinga. As dunas vegetadas também sofreram perturbação e diminuição em superfície ocupada, antes uma duna continua adjacente ao campo de duna móvel, depois um pequeno fragmento substituído em sua maior parte pela vegetação rasteira da restinga (fig. 5.13).

Em 2006, a restinga foi dominou a paisagem local. Cresceu um pouco mais que 50%, disposta em três polígonos diferentes. Teve participação nas mudanças da área urbana e quase que substituiu por completo a duna vegetada. Não houve ocorrência de lagoas, mesmo que temporárias e os recursos hídricos não apresentaram alterações pertinentes para a paisagem geral (fig. 5.13; tab. 5.4).

#### 5.4.2.2. **ZUMBI:**

A dinâmica espacial em função da disposição e composição das coberturas revela padrões parecidos aos da região de Touros. Na passagem de 1970 para 2006 área urbana (exclusivamente ocupações tradicionais) cresceu pouco, mesmo assim a localização destes empreendimentos habitacionais entre as dunas frontais da praia e o campo de duna móvel criou uma barreira artificial que impede a conectividade entre estas duas feições eólicas.

Em contrapartida o campo de duna livre evidenciou uma das maiores diferenças e perdas em cobertura dunar, um pouco menos do que 5 km<sup>2</sup> em cobertura arenosa transformada. Em 1970, as dunas móveis representavam 50% de toda paisagem sendo transformada predominantemente em duna vegetada (2006). Os padrões espaciais para o campo de duna móvel permite inferir que o mesmo continua migrando continente adentro, mas a considerável quantidade de sedimento que chegava ao mesmo, não é mais garantida. No segundo intervalo de tempo da análise, vale notar que a região situada a barlavento desta duna, foi aos poucos sendo ocupada por vegetação esparsa de porte arbustivo (tab. 5.4). A quantidade de restinga aumentou pouco (1 km<sup>2</sup>), no entanto, qualitativamente, se espalhou na porção frontal, a sotavento, na face de avalanche da duna. Não houve qualquer alteração considerável nos corpos d'água (fig. 5.13).

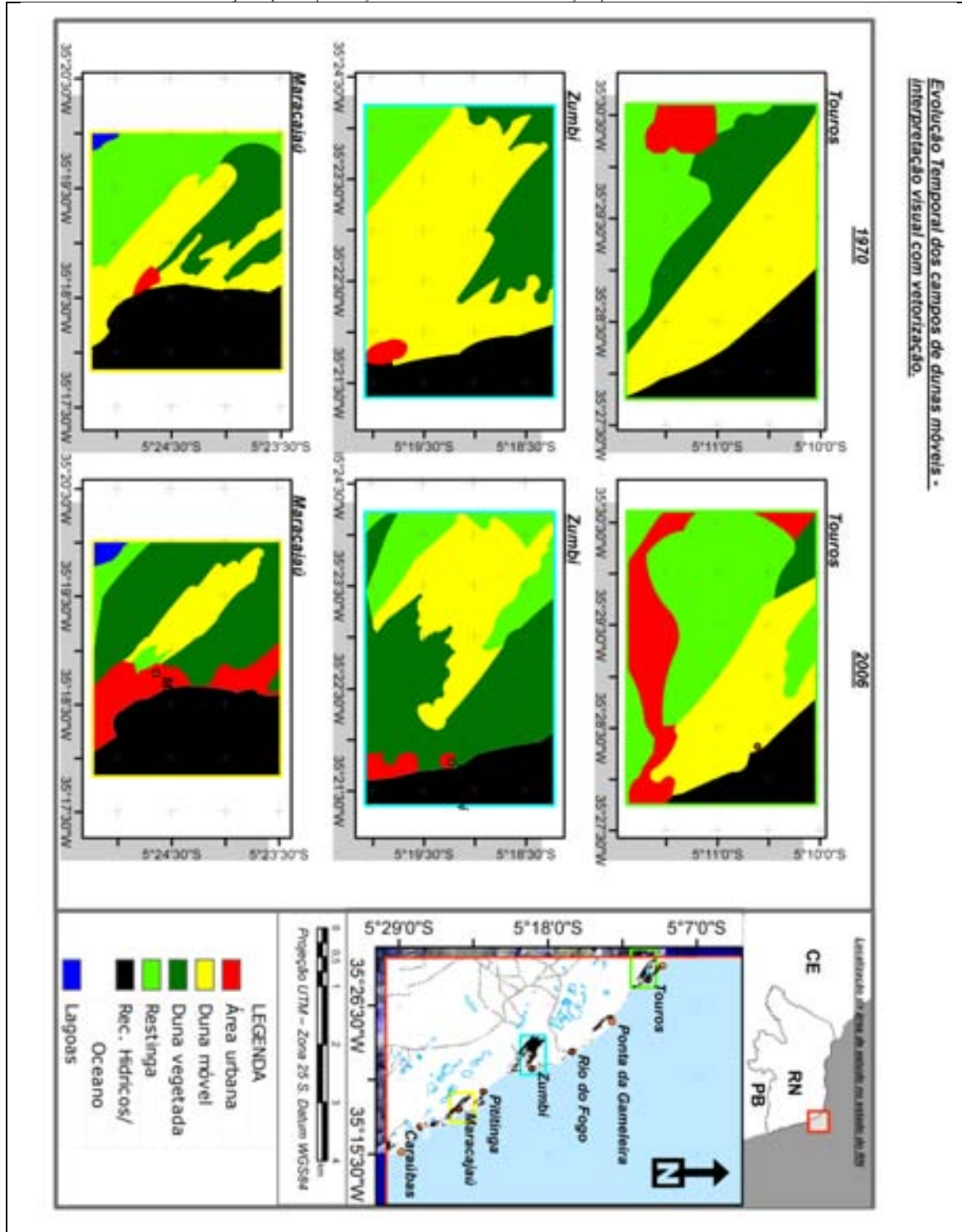
#### 5.4.2.3. **MARACAJAÚ:**

Nesta localidade a tendência da evolução dos cenários é bem parecida e da mesma forma altamente dinâmica. Em Maracajaú, a área urbana cresceu em 1.560 m<sup>2</sup>. Até 1970 a diminuta área representava apenas 120 m<sup>2</sup> de ocupações tradicionais, que no decorrer de 36 anos cederam espaço as casas de veraneio, restaurantes e hotéis. Da mesma forma que Zumbi as ocupações desordenadas sobrevieram entre o campo de duna móvel e as dunas frontais, que geralmente funcionam como ponte de ligação entre os sedimentos advindos da praia com os depositados nos campos de dunas móveis. Percebe-se pelos padrões espaciais apresentados que o crescimento da cobertura área urbana (no sentido norte) elimina por completo uma série de três campos de dunas alongados que migram continente adentro. O fato é que em termos quantitativos as dunas móveis perdem quase que 50% de cobertura original em 1970.

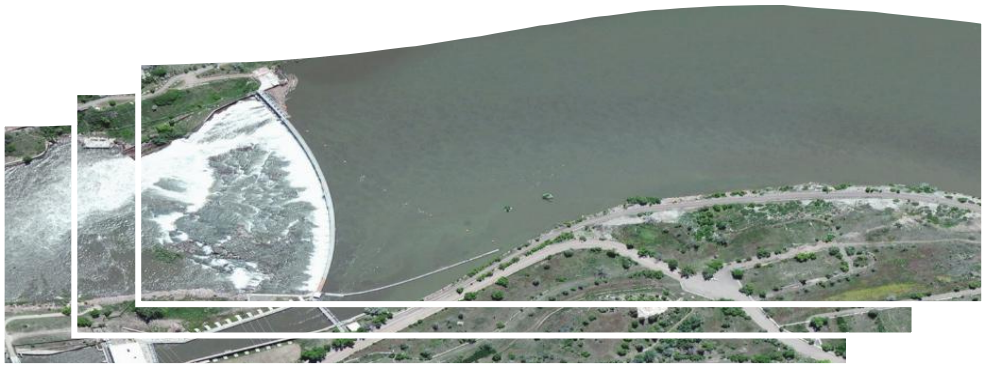
Seguindo o efeito das transições e mudanças dos padrões espaciais, a regressão dos campos de dunas móveis parece se correlacionar com o domínio espacial da duna vegetada que no mosaico de 2006 está predominando. Os dados demonstram que no tempo final analisado, a duna vegetada está disposta em boa parte do que antes era duna móvel e área de restinga. Pela primeira vez nesta análise o tema categorizado como restinga teve a área reduzida (fig. 5.13; tab. 5.4). A migração do campo de duna permite inferir que o mesmo ainda continua ativo apesar de não possuir o mesmo estoque de sedimentos arenosos do tempo inicial. Os valores encontrados para recursos hídricos não variaram bastante, além de estarem dispostos no mesmo lugar e continuarem praticamente com a mesma forma e tamanho (fig. 5.13).



Figura 5.13 – Mapa da Evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajá (interpretação visual com vetorização)



# Capítulo 6



## VI. Discussão:

### 6.1. Aspectos Gerais

Aplicar o sensoriamento remoto em análises temporais implica em obter informação sobre a evolução de um alvo sem necessariamente estar em contato físico direto com ele. As novidades tecnológicas constantemente atualizadas e o domínio das técnicas, seguramente podem ser usados para monitorar e medir importantes atividades humanas sobre a superfície do planeta (Jensen, 2009). De tal forma que, não basta apenas adquirir um produto imagem para fins de mapeamento sem estudar as características pertinentes a cada modo de aquisição de dados. De posse de uma imagem de SR, o bom analista, entende que aquela cena é produto de uma complexa relação entre o sensor e a Terra. A arte de coletar dados a distancia exige compreensão das propriedades do sensor e depende da criatividade (ousadia) do usuário em processar, transformar as imagens no produto que o permite reconhecer o alvo de interesse (Jensen, 2009). Unir estas duas condições (propriedades e criatividade) auxiliam na minimização dos erros e certamente potencializará a qualidade do mapeamento pela competência em transformar informações das plataformas em mapas temáticos adequados ao uso.

É fundamental contemplar a análise comparativa das unidades de uso e ocupação do solo, com limites da escala precisamente bem definidos. A comparação de imagens em diferentes escalas temporais ou espaciais pode afetar padrões, processos e propriedades do sistema de estudo (Odum e Barrett, 2007). Mediante este procedimento, foi possível descrever a dinâmica dos campos de dunas móveis, as interações entre elementos dentro do mosaico da paisagem e como estes padrões e interações mudaram ao longo do tempo (fig. 6.1). Sabe-se, porém que as relações entre padrões espaciais e processos geomorfológicos (e ecológicos) não se restringem a uma única escala (Metzger, 2006).

Figura 6.1 – Paisagem costeira da região de Touros. Espacialmente marcadas pelas unidades de cobertura do solo: Dunas vegetadas, Dunas móveis, Restinga. Foto do autor - 2009.



O mapeamento geológico proposto por Barreto et al. (2004) compreendeu toda costa do RN (litoral oriental e setentrional). A paisagem costeira mapeada foi composta praticamente pelas mesmas classes e a disposição das unidades geológicas de origem eólicas apresentaram arranjos espaciais bem semelhantes. Outro ponto marcante foi a identificação dos depósitos chamados de Lençóis de areia, identificados principalmente pela morfologia não conservada. Na figura (5.1 Capítulo dos resultados – mapa Litológico) esta mesma unidade foi reconhecida em campo pelas feições eólicas antigas em relevo plano e arrasada, posteriormente foi categorizadas como Lençóis arenosos. Vale ressaltar que a disposição dos depósitos eólicos vegetados (Fig.5.1), no trabalho de Barreto et al. (2004) foram descritos como Dunas inativas com morfologia nítida. Embora o objetivo geral desta pesquisa, esteja focado no mapeamento da evolução temporal das dunas, o mapeamento geológico fez-se necessário para o reconhecimento da área geral, secundariamente a seleção dos campos de duna das áreas piloto.

Nesta pesquisa, cobertura da terra adjacente aos campos de dunas móveis, refere-se aos materiais geológico-geomorfológicos e ambientais encontrados sobre a superfície, diferentemente de uso. A paisagem costeira dos campos de dunas são, com efeito, uma cobertura geológica e geomorfológica, quase sempre remodeladas pela exploração antrópica (Rosseti, 2008). As atividades econômicas como o turismo, a exploração petrolífera, a produção agrícola, dentre outras, configuram-se em agentes dinâmicos de criação e consumo de espaços fortemente modificadores das paisagens costeiras e ecossistemas dunares (Jensen, 2009).

Enfim, os arranjos espaciais das unidades geológicas, a dinâmica temporal do campo de dunas móveis, as perdas e ganhos sedimentares, além das transições ocorridas nas coberturas do solo adjacentes aos campos de dunas móveis apresentados nos mapas, não se tratam somente de respostas espaciais frente aos processos naturais, é preciso frisar que estas transições são indicadores da sensibilidade destes **ecossistemas naturais às pressões “artificiais” de origem humana.**

Sendo assim, pode-se inferir que perder cobertura sedimentar típica de uma duna implica no comprometimento de processos ecológicos, na degradação de habitat e redução de biodiversidade; algumas espécies endêmicas destas áreas usam preferencialmente as dunas de areia para se fixar ou deslocar em meio à paisagem. Outro fator negativo referente à diminuição gradativa da superfície sedimentar desprovida de vegetação remete às ocupações desordenadas sobre dunas frontais ambientalmente sensíveis. Por vezes os empreendimentos provocam um desequilíbrio no balanço sedimentar local que afeta dinâmica migratória natural dunas móveis interiores. A comparação de imagens entre períodos estudados ilustra a redução de área como cenário preocupante (negativo) inclusive pela degradação da vegetação fixadora dos sedimentos, em alguns casos, a cobertura vegetal presente nas dunas representa uma fonte secundária de aporte sedimentar.

## 6.2. Análise da paisagem no entorno dos campos de dunas da região de Touros, Zumbi e Maracajaú – TZM- (1970 - 2006).

É comum perceber manchas urbanas como paisagens compostas por um conjunto diversificado de materiais e dispostas de maneira complexa pelo homem para transporte, moradia, comércio e instalações industriais, entre outras. Os aglomerados urbanos aqui mencionados fizeram referência essencialmente às ocupações tradicionais, a habitação e quando presentes, aos estabelecimentos de áreas recreacionais como hotéis e resorts. No entorno dos três campos de dunas, tanto pela vetorização como pela classificação, os resultados evidenciaram crescimento. Na classificação o aumento entre as duas datas foi um pouco mais sutil, entretanto pela vetorização, no caso da região de Touros, nota-se um pico de crescimento em torno dos 2 km<sup>2</sup> (fig. 6.2; fig. 6.9).

Figura 6.2 – Ocupações urbanas do município do Rio do Fogo, localizadas próximo ao Parque Eólico. Foto do autor - 2010.



No entanto, pelos dois métodos, nas três áreas locais (escala pontual), a cobertura sedimentar definida pelos campos de dunas ativos sempre indicaram processo de regressão. Importante notar que na paisagem, as dunas inseridas no mosaico costeiro apresentaram praticamente o mesmo comportamento das tendências apresentadas nos gráficos de uso do solo. No que se refere à comparação de um método aplicado pelo outro, foi a unidade ambiental campos de dunas transgressivos que melhor representou a confirmação dos resultados obtidos. Em outras palavras, os gráficos são quase idênticos, bem semelhantes.

Com as Dunas vegetadas, não ocorreu o mesmo. Em Zumbi e Maracajaú ocorreu avanço, ou seja, houve aumento em área. Entretanto, para a localidade de Touros, enquanto a vetorização demonstrou uma forte regressão a classificação implicou em crescimento da cobertura vegetal presentes no tema duna vegetada. As transições que envolveram substituição da duna móvel em geral sucediam em duas situações mais prováveis de ocorrer: em detrimento do avanço da restinga ou em função da progressão das dunas vegetadas. Então, como explicar este fenômeno ou tendência? Uma das hipóteses enfatiza dois aspectos; a migração do campo de duna continente adentro e a diminuição gradativa do estoque de sedimentos. Quando isto ocorre, a duna continua migrando ativamente, no entanto, como a fonte de sedimentos não abastece a duna com a mesma competência de anos anteriores, rastros de sedimentos são literalmente deixados para trás (barlavento da duna) originando bacias de deflação. Fazendo uma analogia **simplista é como se o vento "varresse" a duna para frente, onde a posição inicial, agora com poucos sedimentos de areia é pioneiramente ocupada pela restinga ou pela vegetação de porte arbóreo configurando substituição pelas dunas vegetadas** (fig. 6.3 – formação da bacia de deflação em Maracajaú).

Figura 6.3 – Duna vegetada adjacente a praia de Zumbi - município de Rio do Fogo, nas proximidades do parque eólico. Foto: feição típica de uma bacia de deflação interdunar. Abaixo da linha tracejada duna vegetada e acima (próximo área urbana) formação de bacia de deflação ocupada pela vegetação da restinga. Foto do autor - 2010.



A restinga pela análise dos gráficos de cobertura do solo (fig. 6.9; fig. 6.10) foi a cobertura que menos obteve similaridade entre os dois métodos. Nas adjacências de Touros e Zumbi, pela vetorização, houve aumento expressivo enquanto em Maracajaú houve supressão bastante expressiva. A classificação apresentou o cenário completamente oposto, sendo as diferenças quantitativas deste método menos discrepantes.

Após processamento digital, devido às respostas espectrais particulares emitidas pela vegetação é possível definir nas imagens diferentes tipos de vegetação que variam em torno do gradiente de tons vermelhos (cores), quando obviamente, usa-se o infravermelho próximo no canal do vermelho. Nesta pesquisa, os diversos testes que deram ênfase ao destaque da vegetação foram associados à manipulação da banda quatro (near infrared). Isto porque a vegetação reflete bem no infravermelho próximo que nesse caso corresponde à banda 4 ( $\lambda$  0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ) dos sensores Landsat TM e ETM+ (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Dentro da área continental, aplicação do procedimento mencionado permitiu diferenciar com maior precisão a vegetação restinga da vegetação encontrada nas dunas vegetadas. Neste sentido, no entorno do campo de duna de Zumbi, admite-se que a classificação da restinga e duna vegetada foi representativa do que realmente permanece na área estudada. As respostas diferenciadas, implicam em processos de trocas entre a radiação eletromagnética sugestiva a um espectro óptico e um alvo, em geral, são condicionadas por fatores químicos e estruturais e pode ser observado sob o ponto de vista da absorção, da transmissão e da reflexão da radiação. Ainda para o mesmo autor, a integração desses três parâmetros serve de ajuda para o estudo do comportamento espectral dos alvos. (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

A cobertura da paisagem representativa de águas continentais definidas como Lagoas presente no mosaico de Maracajaú (fig. 5.13 – mapa de cobertura do solo) permaneceu praticamente inalterada, a diferença de 70 m<sup>2</sup> demonstra sutil participação na heterogeneidade espacial da área. Pode-se inferir que este corpo de água perene é provavelmente resultado do lençol freático que aflora em regiões interdunares com declividades baixas ou superficialmente encavadas (Amaral, 2008). Dispostas ao longo de toda paisagem costeira do litoral oriental do RN, estas coberturas lacustres podem funcionalmente interferir na composição da paisagem e consequentemente na disposição dos campos de dunas da área em que estão inseridas. Eventualmente, a presença de uma lagoa perene ou intermitente a barlavento do campo de duna representa uma barreira física natural, que diminuirá o transporte de sedimentos da fonte para a duna interior. Vale ressaltar que o **sedimento de areia transportado pelo vento em contato com a lamina d'água da lagoa**, provavelmente, ficará retido na lagoa, em virtude da capacidade que a umidade tem em aderir sedimentos arenosos (Grotzinger, et al. 2006) (fig. 6.4; fig.6.14-e) foto de lagoa interdunar).

Figura 6.4 – Feição típica de lagoa interdunar. Foto do autor - 2010.



Enfatizando a participação da categoria recursos hídricos e suas implicações para evolução das praias de Touros, Zumbi e Maracajaú, no produto cartográfico gerado pela classificação supervisionada, esperava-se que **não houvesse conflito e que o método “filtrasse” bem a região do oceano. Entretanto,** ocorreu uma série respostas ou padrões imprecisos que norteiam algumas incógnitas. Em Zumbi no ano de 2006, surgiram alguns círculos azuis situados na bacia de deflação desta duna (a barlavento) classificados figurativamente como Recursos Hídricos. Existe grande probabilidade de que estes polígonos sejam pequenas lagoas intermitentes, contudo, no entorno deste mesmo campo de duna, na região frontal da duna (a noroeste) (fig. 5.12 - mapa de cobertura do solo) estas manchas (polígonos azuis) não representam evidências de superfície aquosa, mas de restinga. Uma forma de minimizar estas limitações estaria em reconsiderar estas **feições difíceis de filtrar como a categoria “cobertura não considerada”.** Do mesmo modo que foi feito em Silva et al., (2004); Souto, (2002) e Grigio, (2003).

Compreender a paisagem costeira sob o ponto de vista da ocupação e ordenamento do solo (fig. 6.5 – foto panorâmica das coberturas do solo), em um dado intervalo de tempo, necessita do entendimento da dinâmica histórica da área em estudo. No caso do entorno dos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú, recorte espacial deste trabalho, constatou-se principalmente, crescimento das especulações imobiliárias (ocupações tradicionais e grandes empreendimentos turísticos) em detrimento das dunas frontais, assim como desenvolvimento de áreas agrícolas e crescimento das atividades pecuárias.

Figura 6.5 – Paisagem costeira sob o ponto de vista da cobertura do solo. Panorama geral das classes mapeadas: Dunas móveis (a), Dunas vegetadas (b), Lagoas temporárias (c), Oceano (d), Ocupações urbanas (e) (coqueiros fazem parte da área de lazer de uma pousada para turistas), (f) restinga. Foto do autor - 2009.



Os primeiros resultados do censo 2010 (IBGE, 2011) demonstram que a população destes dos municípios de Touros, Rio do Fogo e Maxaramguape desde 1991 seguem em crescimento contínuo. Com exceção de Maxaramguape que entre os anos de 1996 e 2000 sofreu declínio, de 14.000 habitantes passou para 8.000 em 1991. Mesmo assim o panorama demográfico geral para estes três municípios costeiros indicam crescimento da população. Segundo Silva, (2009) as principais sedes municipais que contribuem significativamente para o crescimento populacional são descritas na Tabela 6.1.

Como se trata de regiões adjacentes aos campos de dunas, o crescimento desordenado, frequentemente, se expressa na presença de unidades habitacionais distribuídas espacialmente em áreas próximas à linha de costa, especificamente, nas dunas frontais conectadas diretamente com a praia e mar.

Tabela 6.1 – Número de habitantes nas principais localidades dos municípios de Touros, Rio do Fogo e Maxaranguape. Notar população das sedes urbanas de Touros, Zumbi e Maracajaú. População das principais sedes urbanas por município. Adaptado Silva (2009).

Municípios	Sede urbana (povoados)	Nº de habitantes
<u>MAXARANGUAPE</u>	Maxaranguape - Centro	2.763
	Caraúbas	1.560
	<b>Maracajaú</b>	1.371
	Total	5.694
Total IBGE (2010*) =		10.441*
<u>RIO DO FOGO</u>	Rio do Fogo - Centro	2.968
	Pititinga	861
	<b>Zumbi</b> (povoado + sitiado)	1.656
	Total	5.485
Total IBGE (2010*) =		10.059*
<u>TOUROS</u>	<b>Touros</b> - Centro	6.397
	Carnaubinhas	1.213
	Cajueiro	2.619
	Perobas	380
	Total	10.609
Total IBGE (2010*) =		31.089*

No estuário do rio Jaboatão, o avanço da ocupação urbana durante 33 anos acelerou processos ambientais refletindo em sérios danos a fauna e a flora. Os impactos negativos sob litoral Pernambucano exemplificam que a progressão da área urbana gradativamente suprimiu o que antes correspondia a vegetação dos manguezais. Assim como para as dunas transgressivas do litoral oriental do RN, por ser um ambiente de múltiplos interesses é de fundamental importância para comunidade local e tomadores de decisões, monitorar a evolução temporal destes alvos com objetivo de viabilizar ações ou projetos que visem minimizar a pressão exercida pelo homem frente à ocupação das terras de modo desregrado. (Silva, 2009).

Por meio da utilização de sensores da série Landsat, na APA (área de proteção ambiental) de Jenipabu/ RN, segundo Pinto e Fernandes (2011), a evolução multitemporal dos campos de dunas ativos, evidenciam como principal transição ou mudanças dos padrões espaciais, a progressão da cobertura vegetal em função de regressão das áreas sedimentares ocupadas pelas dunas livres. Os autores afirmam que as possíveis causas além do crescimento das áreas urbanas estão relacionadas a influência da agricultura e pecuária, como principais agentes modificadores da paisagem na APA.

Na região de Irauçuba/CE os mapas de uso e ocupação do solo baseados em series temporais da família Landsat 5 e 7 (TM/ETM+) exibem aumento da pressão antrópica sobre as áreas naturais, dados comprovados pelos resultados quantitativos. Dessa forma, visando uma classificação precisa, um número de aproximadamente vinte amostras foi selecionado para cada conjunto de alvos a serem retirados da imagem (Pinto et al., 2009).

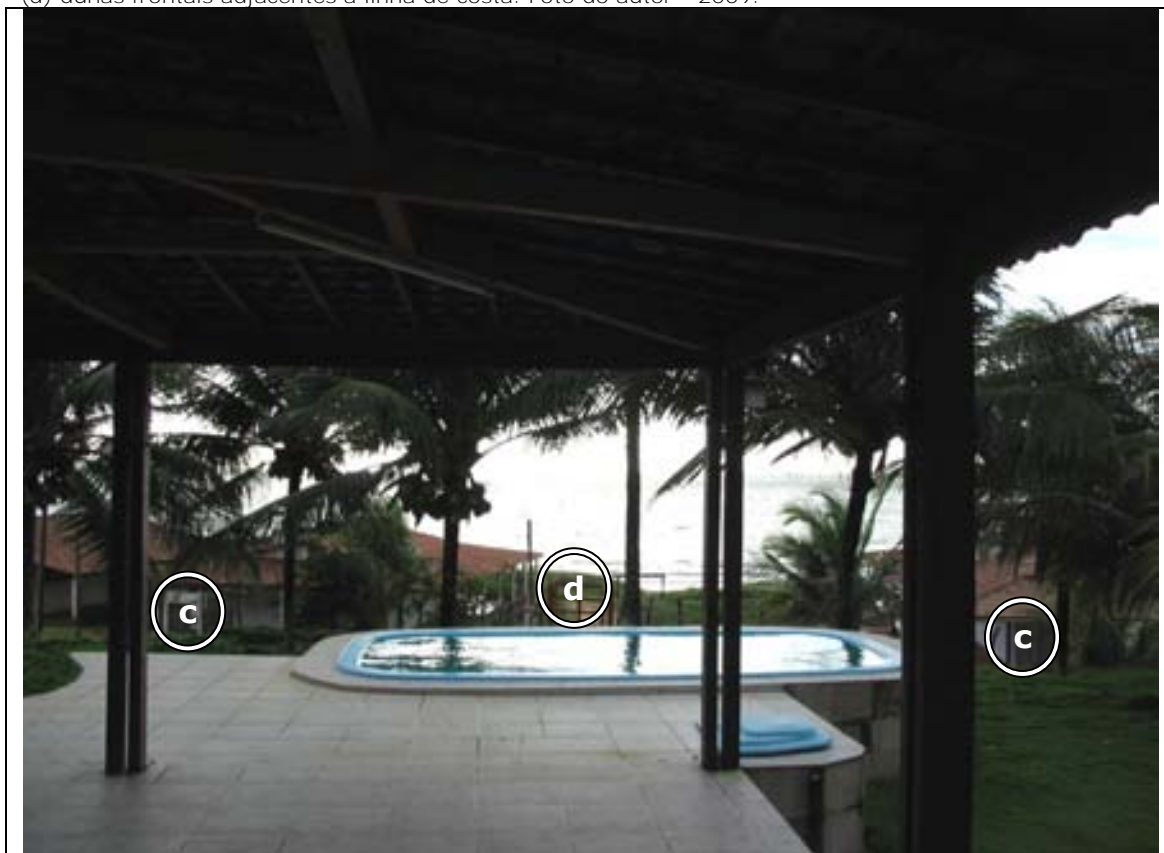
O processamento de imagens quando eficiente é capaz de gerar produtos temáticos fiéis às feições de interesse que se deseja mapear (destacar). Sendo comum em pesquisas desta natureza, optar pela classificação supervisionada como ferramenta metodológica na confecção dos mapas temporais. Nesta perspectiva, a evolução dos tipos de uso e ocupação das terras, no trabalho de Pereira e Filho (2009) analisaram uma série histórica de imagens Landsat TM (1986, 1999 e 2005) por meio da classificação estatística (Fernandes, et al. 2009). Os autores afirmam que as imagens foram processadas em três etapas: georreferenciamento, classificação supervisionada e marcação de pontos (GPS) para verificar coerência dos mapas de uso da terra com as informações de campo. Nos resultados adquiridos para o mapeamento de cobertura do solo adjacente aos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú, verificou-se a quantificação de valores superestimados (tab. 5.3) essencialmente devido algumas limitações do método de classificação supervisionada. Todavia, em função da resposta espectral dos grãos de areia, percebe-se que o realce dos campos de dunas ativos assegura o mapeamento calibrado e a quantificação efetiva da área coberta pelas dunas. Portanto, pode-se afirmar que classificar dunas em imagens Landsat e fotografias aéreas potencialmente produzem mapas com acuidade de 85% ou 15% de erro (Metzger, 2006).

Na escala temporal de 13 anos, Fernandes e Amaral (2010), também por meio de produtos imagem Landsat, usaram a classificação MaxVer para quantificar e avaliar a dinâmica das dunas móveis com maior cobertura em área, os autores perceberam que as mesmas continuavam migrando continente adentro. As imagens foram trabalhadas em dois sistemas de tratamento de imagem, no RGB e HSI. Este último sistema de representação possibilitou reconhecer as principais feições geológicas presentes na paisagem, enquanto o primeiro permitiu extrair informações pertinentes a textura e morfologia dos campos de dunas ativos. Neste mesmo trabalho os autores afirmam pela análise quantitativa que as dunas continuam ativas, mas sua cobertura original diminuiu cerca de 30%.

Segundo Nora et al (2009), áreas urbanizadas são bastante difíceis de serem manejadas pois, geralmente, são indicadores de impactos ambientais negativos relacionados com expansões urbanas, produção de resíduos e invasão da população em áreas protegidas, a exemplo do que ocorre com as dunas de areia e dunas vegetadas. Análogo ao que acontece com outros ecossistemas naturais, as dunas costeiras, apesar de sensíveis, possuem capacidade de reagir as pressões externas que condicionam mudanças no estado de equilíbrio do sistema, ou seja, são elásticas as pressões antrópicas e estocásticas. A resiliência neste caso apresenta-se através de dois aspectos. Pela resistência aos impactos produzidos pela atividade humana, que varia desde o desenvolvimento de ocupações permanentes até a presença de estradas deixadas pelo tráfego de carros. Segundo

aspecto faz referência aos processos naturais: alterações climáticas, mudanças no nível do mar e alterações no regime de ventos. Em síntese, os impactos estão embutidos em processos geológicos de ocorrência natural ou induzidos pelo homem (Rust e Illenberger, 1996). Estes autores afirmam que a resiliência implica diretamente na sensibilidade das dunas, onde as mesmas são mais vulneráveis aos impactos das alterações antrópicas do que naturais, principalmente porque os fatores de ordem geológica agem sobre todo sistema dunar enquanto as ações humanas atuam localmente em compartimentos fundamentais responsáveis pela estrutura destes campos de dunas ativos. Fato coerente com resultados encontrados nesta dissertação. As modificações nos arranjos espaciais, na composição da paisagem e, sobretudo, na disposição dos campos de dunas ativos (fig. 5.12; fig. 5.13; fig. 6.6), evidenciam fortemente, que na escala temporal de dezenas de anos, o agente potencial modificador dos padrões espaciais das dunas é a ação antrópica. Os episódios naturais como variações climáticas e aumento do nível do mar, certamente, operam na dinâmica temporal de mudanças espaciais, entretanto, na escala temporal de 36 anos não foi possível determiná-los como causa principal das transições (Barreto et al., 2004; Lima et al., 2006). Estes episódios cíclicos eventuais provavelmente seriam mais facilmente notados em outra escala de tempo-espço.

Figura 6.6 – Ocupações antrópicas sobre dunas frontais. Foto retirada dentro da área de lazer de uma pousada na praia de Zumbi. Na frente da pousada, ocupações tradicionais (c) casas de veraneio sobre (d) dunas frontais adjacentes a linha de costa. Foto do autor - 2009.



Sob o mesmo panorama da ação dos fenômenos físicos-naturais e suas implicações na paisagem, destaca-se a participação do vento, que na porção

oriental do litoral potiguar, predominantemente, vem de sudeste. Sem dúvidas a dinâmica de migração dos campos de dunas móveis está intimamente atrelada a competência do vento em transportar sedimentos arenosos. Entretanto, sem desconsiderar esta função, admitiu-se no presente estudo, que saber a direção do vento predominante e velocidade média nos meses de maior atuação era suficiente para realização do mapeamento em series temporais na escala espacial aqui definida. A velocidade média anual dos ventos chega a 4,3 m/s (15,5 Km/h), com as maiores médias mensais ocorrendo entre os meses de agosto a novembro, e os menores em março e abril (Tinôco, 2011). Os ventos mais fortes começam a soprar no mês de agosto, cuja média é de 5,1 m/s e com máximas chegando a 7,6 m/s, estendendo-se até outubro, quando a média começa a cair de 5,3 m/s para 5,0 m/s no mês de novembro e 4,8 m/s em dezembro (Tinôco, 2011). A característica destes ventos que atingem a porção Leste do litoral potiguar favorece ao fácil deslocamento de sedimentos, principalmente os costeiros de origem marinha, que atuam diretamente nos processos morfológicos de construção e reconstrução do relevo local (Tinôco, 2011).

Localmente, na tentativa de sistematizar a dinâmica espaço-temporal no entorno dos campos de dunas das três regiões pontuais (TzM) pode-se inferir que as dunas continuam ativas; resultado comprovado pelo avanço da frente de duna migrando continente adentro. Em particular a migração evidente na duna de Maracajaú (fig. 5.12 e 5.13), pode estar em processo de estabilização; devido a diminuição gradativa do aporte de sedimentos fornecidos pela duna frontal que foi aos poucos sendo substituída pelo avanço das áreas urbanas tradicionais atreladas as intervenções antrópicas desordenadas (fig. 6.7). As figuras 6.8 e 6.9 sintetizam a dinâmica da evolução temporal em função da quantificação, os gráficos ilustram o cenário geral de cobertura da terra para região de Touros, Zumbi e Maracajaú entre 1970 e 2006, em todas as classes de ocupações pelos dois métodos de mapeamento temático.

Figura 6.7 – Paisagem costeira dunas frontais em Maracajaú/Maxaramguape. Ocupação desordenada das dunas frontais. A esquerda da embarcação pesqueira, bar e restaurante local. Foto do autor - 2010.



Figura 6.8 – Gráfico da quantificação da área total de cobertura do solo: respectivamente da esquerda para direita MZT entre os anos de 2006 e 1970. O gradiente cinza das barras indica o tempo final e inicial da análise temporal pelo método da interpretação visual com vetorização dos polígonos.

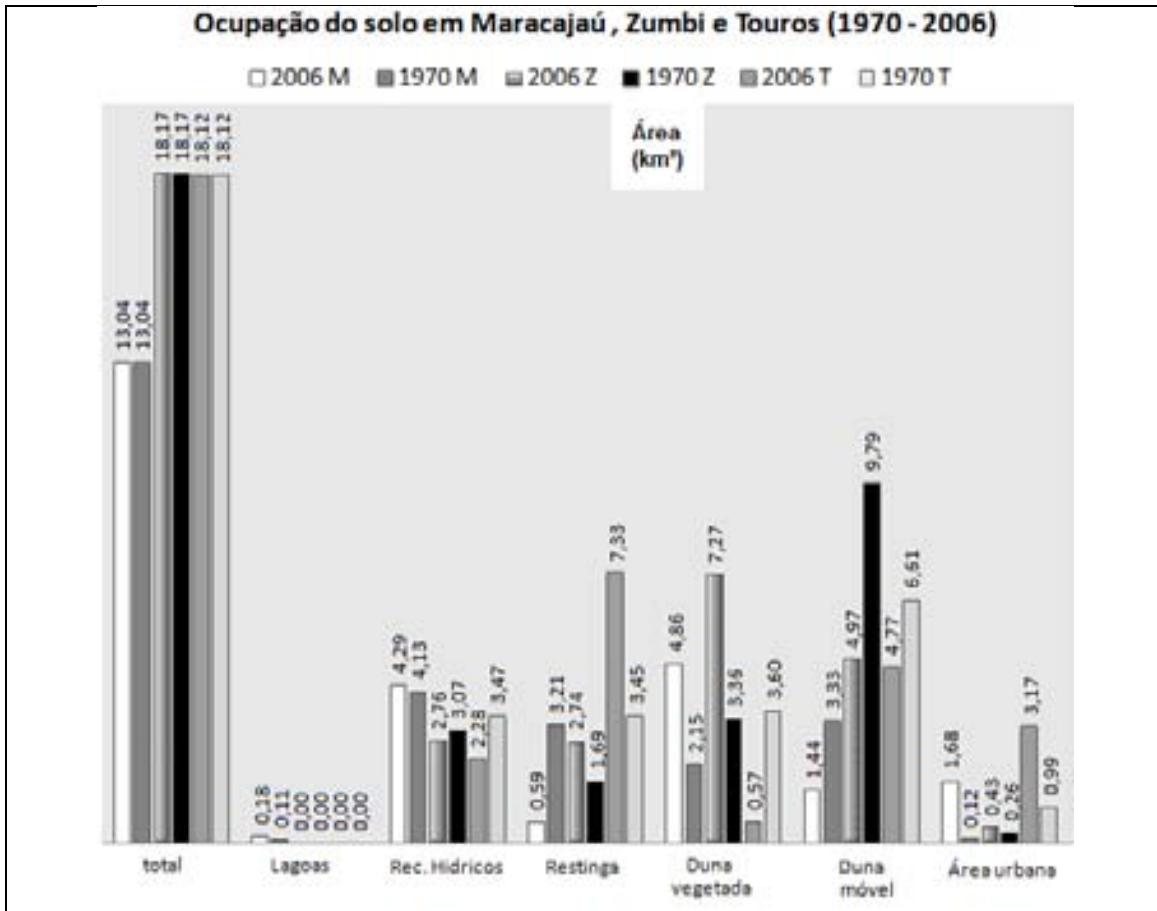
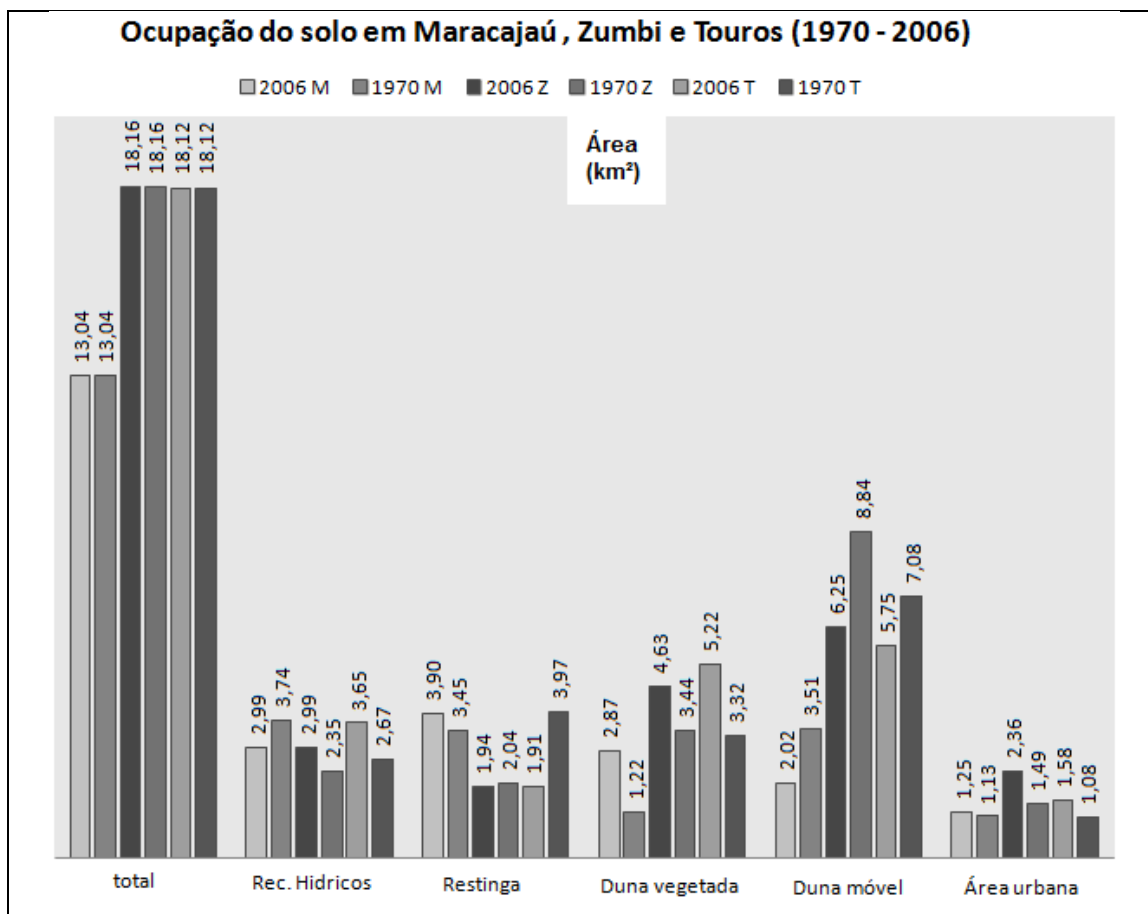


Figura 6.9 – Gráfico da quantificação da área total de cobertura do solo: respectivamente da esquerda para direita MZT entre os anos de 2006 e 1970. O gradiente cinza das barras indica o tempo final e inicial da análise temporal pelo método da classificação estatística (MaxVer).



### 6.3. Evolução das Dunas costeiras no litoral oriental do RN

As evidências corroboram claramente tanto pelos dados quantificados quanto pela análise dos mapas que os campos de dunas ativos do litoral do Rio Grande do Norte estão envolvidos em processos de retração e perda de cobertura sedimentar. Segundo Bailey & Bristow (2004), em Aberffraw, Anglesey, north Wales por meio de interpretação de fotografias aéreas as dunas móveis (bare sand) foram monitoradas entre os anos de 1940 e 1993, o panorama proposto e os resultados quantitativos implicam na redução gradativa da cobertura sedimentar (fig. 6.10). O ritmo de regressão é semelhante ao cenário encontrado nas dunas do litoral do RN, onde as taxas de perdas sedimentares (diminuição da cobertura de área) são maiores que as taxas de deposição (fig.5.2; fig.5.3; fig.5.5).

Figura 6.10 - Evolução temporal do campo de duna móvel em Aberffraw, Anglesey, north Wales. Regressão da superfície sedimentar entre 53 anos da análise temporal. Mapa proposto por Bailey e Bristow (2004).



Na citação acima a causa principal dos impactos negativos inerentes a **diminuição de cobertura sedimentar** é a “**pressão**” exercida pelas estradas sobre as dunas, enquanto, que no litoral estudado, a redução é justificada pelo avanço das áreas urbanas sobre os cordões dunares frontais (fonte de sedimentos) e pelos fenômenos geológicos de ordem natural. Assim como no RN, os autores afirmam que ainda há migração, entretanto o ritmo enfraquece na mesma proporção que a área superficial diminui. Sob estas condições as dunas tendem a estabilização ou podem desaparecer por completo sendo substituídas por outras coberturas de origem antrópica e natural.

O sensoriamento remoto (SR), principalmente através da classificação de imagens multiespectrais, aliado ao uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem possibilitado o inventário desses recursos (dunas transgressivas) e seus usos. Isso inclui a identificação da cobertura vegetal, solos, geomorfologia e geologia. O sensoriamento remoto e SIG fornecem de uma maneira eficiente em termos de custo, o acesso a informações ambientais, além de possibilitar atualização periódica dos dados sobre ocorrência, abundância e distribuição dos recursos na superfície do planeta (Sample, 1994).

Na Austrália, em "Barrier Island" Schlacher e Thompson (2008), que a densidade de veículos "off-road" 4x4 intensificaram o deslocamento artificial da areias presentes nas dunas frontais. Praticamente 50% da cobertura sedimentar (em grãos de areia) das "foredunes" foram deslocadas pelo impacto causado pelos carros (Luke e Thomas, 2008). Semelhante com os fenômenos de desmatamentos, fazendo uma analogia simplista, é como se as estradas formadas pelos carros "fragmentassem" o campo de duna frontal afetando diretamente a estrutura e, o funcionamento no que se refere ao suprimento de sedimentos para dunas interiores (fig.6.11; fig.6.14-f).

Figura 6.11 - Dunas móveis, nos municípios de Touros (a) e Maxaramguape (b;c). Estradas (setas tracejadas) sobre dunas frontais (esquerda) e entre dunas interiores (direita/ abaixo), geralmente, construídas artificialmente para deslocamento de veículos e população local. Foto do autor - 2009.



Em dunas costeiras de Israel, a interpretação de fotografias em torno de 50 anos, enfatiza a preservação das dunas de areia pela manutenção da cobertura vegetal. É comum em zonas costeiras, que o mosaico da paisagem seja composto principalmente pelas formações eólicas: dunas de areia (móveis) e dunas **vegetadas (fixas), onde geralmente as "manchas" cobertura vegetal estão dispostas** ou espacialmente inseridas na matriz da paisagem dominada pelas dunas móveis. Sob estas condições, resultados confirmam que a migração, progressão, regressão e diminuição em área destas unidades arenosas dependem indiretamente da manutenção da vegetação adjacente as mesmas (Levin E Bem-Dor, 2004). Conforme descrito por Schoeman (2002) e Rodrigues (2007), a preservação da vegetação na região costeira diminui a mobilidade das dunas. Partindo do pressuposto citado, é intuitivo afirmar que a dinâmica da paisagem costeira no RN e localmente em TZM é provavelmente sensível aos mesmos efeitos. Esse comportamento justificaria hipótese de substituição das dunas de areia para formação de bacias de deflação geralmente vegetadas pela restinga (fig.6.14-c) e, explicaria o aspecto da transição entre aumento das concentrações urbanas em detrimento da regressão das dunas frontais. Resumindo, o cenário de alterações **nos padrões da paisagem sugere um relativo efeito "cascata"; onde ao longo da** evolução temporal, a retirada da duna vegetada afeta a estrutura e manutenção das dunas móveis que por sua vez diminuem em área, cedendo espaço as ocupações urbanas que avançam sobre dunas frontais (fig.6.12) e interiores.

Figura 6.12 – Duna frontal (polígono tracejado) localizada na praia de Perobas, município de Touros. Fundamental no aporte de sedimentos para campo de duna móvel que migra ativamente continente adentro. Foto do autor - 2009.



No México, usando o mesmo princípio metodológico de avaliar a dinâmica temporal de áreas costeiras por meio de mapeamento, classificação supervisionada e quantificação das diferenças, Ruiz-Luna e Berlanga-Robles (2003), obtiveram como resultados mais significativos dos seus mapas, a transição de áreas naturais (lagunas e dunas de areia) para progressão de áreas urbanas. Eles afirmam que no

decorrer dos 24 anos da escala temporal a cobertura corresponde às áreas antrópicas (urbana e agricultura) cresceu aproximadamente 104%.

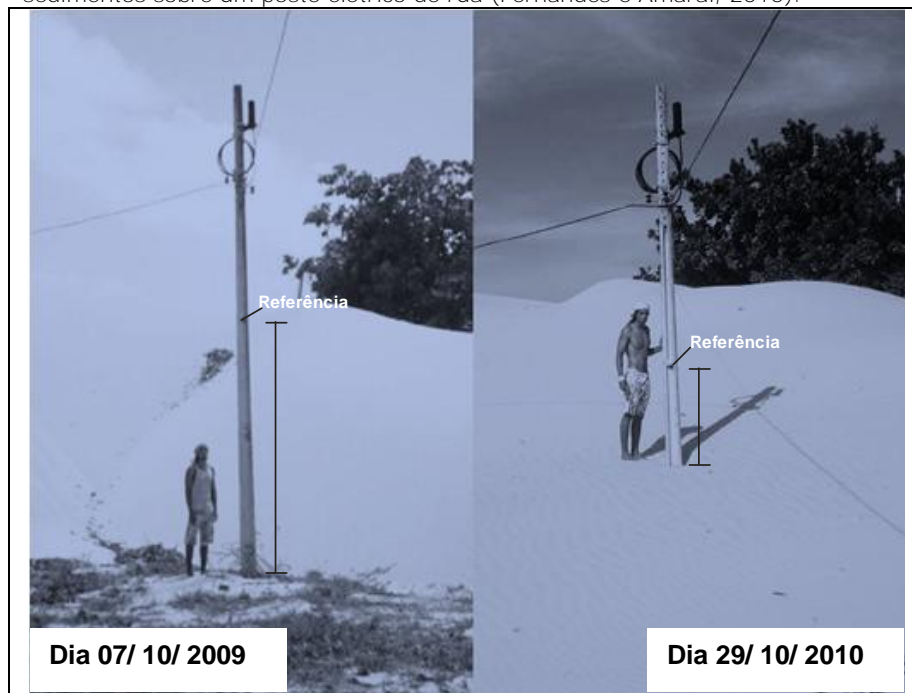
No Rio Grande do sul, nove campos de dunas móveis foram monitorados sob o ponto de vista da evolução temporal por meio de fotografias aéreas complementadas pela observação de produtos LANDSAT dos sensores ETM+, TM e MSS. Apesar de não ter sido feito mapeamento e quantificação da área, análise visual dos produtos de sensoriamento remoto foi suficiente para verificar como padrão principal, a regressão das dunas frontais e transgressivas. A perda em cobertura de sedimentar pode ser explicada por dois aspectos: pressões antrópicas sobre as dunas frontais pela influência das estradas e aumento da ocupação urbana ou se explicaria pela estabilização natural do campo de duna transgressivo ao se afastar da linha de costa e das frontais, que funcionalmente representam fontes de suprimento arenoso para as dunas transgressivas interiores (fig. 6.12; 6.14-b). Esta pesquisa revela ainda que as diferenças morfológicas entre os nove campos de dunas podem ser explicadas pela variação de uma série de fatores (gradientes topográficos, chuva, velocidade e direção do vento, fornecimento de areia, energia das ondas, transporte de sedimentos litorâneos) que diferem consideravelmente ao longo da linha de costa sulriograndense em cada campo de duna (Martinho et al. 2010). Mudanças na estrutura e composição de paisagens costeiras podem ser facilmente mapeadas e quantificadas através do uso do SIG juntamente com produtos de sensoriamento remoto (Klemas et al., 2000).

Em Santa Catarina, assim como no litoral do RN, o desenvolvimento do setor turístico apóia-se nas características naturais e nas belezas cênicas da região. Belas praias, paredões de falésias, corais, passeios de veículos sobre dunas de areia, têm sido os atrativos principais para o crescente interesse sobre essas áreas. Ressalta-se que as dunas são feições naturais da maioria das praias arenosas do mundo, consideradas por alguns cientistas como um ecossistema a parte (fig. 14-b). Elas recebem contínuos aportes de areia, transportadas pelos ventos dominantes, sendo caracterizadas pela influência mútua de areia com as praias e das praias com dunas frontais que por sua vez fornecem sedimentos para dunas interiores (geralmente transgressivas). Existe um sistema dinâmico que originalmente começa a transportar sedimentos de origem marinha para praia, destas para dunas frontais e, conseqüentemente para dunas móveis interiores. Reciprocamente este modelo se reconstitui naturalmente (Klein et al., 1999). O mesmo autor alerta que o avanço desregrado das áreas urbanas (do turismo e ocupações tradicionais) sobre dunas frontais pode impactar negativamente o sistema resultando em mudanças indesejáveis à paisagem litorânea.

O monitoramento da dinâmica dunar de um corpo de dunas localizado na praia de Lagoinha, na cidade de Paraipaba/CE, nos anos de 2002 e 2007, foi aplicado através de levantamento topográfico nos dois períodos e mosaico de fotografias aéreas. Portanto, entre os anos de 2002 e 2007, existiu deslocamento pontual das dunas em direção à cidade, o deslocamento foi de 24.63 m, 21.21m e 6.29m, respectivamente, em três níveis entre a duna e área urbana. Observa-se que os menores deslocamentos estão associados às áreas com maior concentração de vegetação. A migração das dunas em direção à cidade merece atenção porque pode tomar maiores proporções ao transpor a área que contém vegetação, ou seja,

as dunas podem ter maior facilidade em deslocar-se pela área urbana (Machado et al., 2011). Através de marcação de pontos e registros fotográficos para levantamento de afloramentos geológicos, Fernandes e Amaral (2010), na praia de Maracajaú em um ano de monitoramento mensal (outubro 2009 a outubro 2010), identificou dinâmica espacial semelhante ao ocorrido na praia de Lagoinha/CE. Esta movimentação merece atenção devido ao risco de propagação da duna ativa sobre estradas, casas e fiação elétrica (fig.6.13; fig.6.14-a; fig.6.14-d).

Figura 6.13 - Duna móvel adjacente a praia de Maracajaú. Foto relativa a migração ativa da duna em função do deslocamento e altura do nível de sedimentos sobre um poste elétrico de rua (Fernandes e Amaral, 2010).



Ocasionada pela intensa ação de processos costeiros do meio físico e por forte influência de ações humanas e atividades sócio-econômicas, no litoral setentrional do Rio Grande do Norte, além do turismo, o desenvolvimento da indústria petrolífera em função do risco acidental de derramamento de óleo em zonas costeiras, justifica o monitoramento ambiental por produtos de SR (Silva et al., 2005). Dados frequentemente atualizados em ambientes SIG, eventualmente, auxiliam órgãos de proteção ambiental sobre como as categorias de uso do solo e ocupação humana na orla do estado do RN, estão ocorrendo (Souto, 2002; Grigio, 2003). Na mesma região, o mapeamento das unidades geoambientais nas proximidades do sistema estuarino Açú-Piranhas/RN, fundamentados na interpretação de imagens multiespectrais do sistema IKONOS (alta resolução), **resultou na quantificação do uso e ocupação do solo onde a classe "duna" contribuiu somente com 10% de área no mosaico da paisagem total** (Ferreira et al., 2005).

Segundo Souto (2004), a utilização de SIG´s aplicado ao ordenamento da região costeira e das atividades socioeconômicas existentes na região da Ponta do Tubarão apresenta diversas vantagens, que incluem o benefício da integração das técnicas de processamento digital de sensores remotos e a classificação temática

com a análise espacial. O mapeamento realizado nesta região localizada na porção do litoral setentrional considerou que os depósitos de origem eólica, ou seja, as dunas móveis e fixas estão inseridas na categoria de vulnerabilidade alta a muito alta, em termos quantitativos isto representa aproximadamente 75% da paisagem total. Vale salientar que a maior parte das dunas ativas mapeadas estava inserida **na classe vulnerabilidade de "alta", fato que remete uma atenção especial** quanto a fragilidade destes ecossistemas dunares.

Figura 6.14 – Fotos: Feições típicas dos ecossistemas dunares dispostas no mosaico da paisagem costeira do litoral oriental do Rio Grande do Norte. a) foto tirada em frente a face de avalanche do campo de duna móvel em Zumbi; b) duna frontal Zumbi; c) Duna móvel, duna vegetada e bacia deflação ocupada por Restinga em Maracajaú; d) sotavento duna móvel Maracajaú; e) lagoa interdunar em Touros, f) estrada cortando duna vegetada em Touros. Foto do autor - 2009.

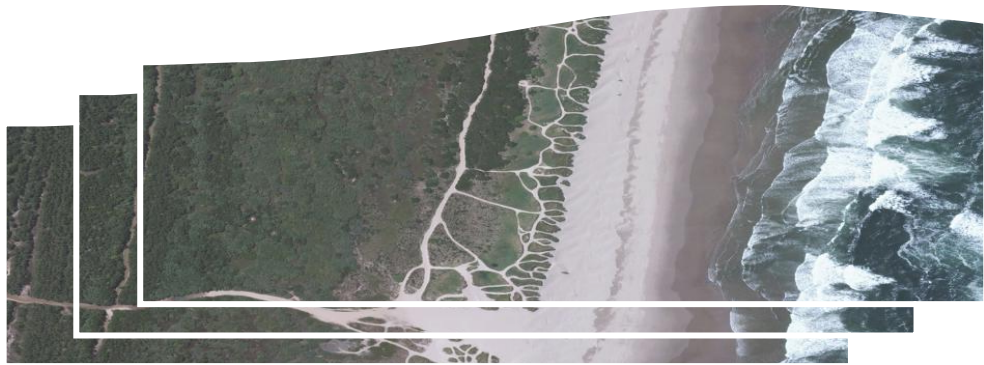


Realmente, existe uma forte dinâmica na paisagem do litoral oriental do Rio Grande do Norte dirigindo os padrões espaço-temporais dos campos de dunas móveis. Merece atenção particular a disposição destas dunas de areia entre os anos de 1993 a 2001 (fig.5.5; fig.5.7; fig.5.9 – nos resultados). Embora, não seja possível afirmar com exatidão as causas do aumento de área nesta terceira janela temporal para os campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú, em intervalo de tempo semelhante, alguns estudos evidenciam ocorrência dos fenômenos El Niño/La Niña (ENOS) como agentes cooperadores para aporte sedimentar de origem marinha e para gênese dos campos de dunas. Onde as alterações do nível relativo do mar decorrentes das oscilações de temperatura na superfície do oceano podem descobrir e expor à costa (zona de praia) rica em sedimentos arenosos e quartzosos (Meireles, 2011), condição climática sugestiva para aumento de área em decorrência do incremento sedimentar.

A frequência de eventos (precipitação e ventos) mais severos esteve diretamente associada aos meses de maio, julho e agosto, principalmente nos anos de El Niño como os de 1983, 1987, 1990, 1992, 1995 e 1997, considerados como ocorrência forte e moderada (Herrmann & Mendonça, 2007). A literatura tem mostrado que estes fenômenos contribuem na modulação da circulação atmosférica e nas anomalias das chuvas. Geralmente, as oscilações de temperatura provocam excesso de precipitação no Sul do Brasil durante sua fase quente, ao mesmo tempo em que uma diminuição da precipitação pode ocorrer no Nordeste do Brasil (Soppa, et al., 2011). Consequentemente, contribuindo com fornecimento de sedimentos e ventos competentes para transportar o volume de areia necessários à edificação das dunas móveis e interiores, que continuam ativas migrando continente adentro. Eventualmente, os dois episódios do El Niño que ocorreram em 95 e 97 podem justificar o acréscimo de área entre 1993 e 2001 apresentado nos resultados do mapeamento temático.



# Capítulo 7



## **VII. Considerações Finais:**

### **7.1. Conclusões**

Os campos de dunas do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte entre os municípios Maxaramguape e Touros foram devidamente cartografados e avaliados quanto aos arranjos espaciais apresentados, sob o ponto de vista da dinâmica espaço-tempo.

As imagens multiespectrais da família Landsat5TM e 7ETM+ foram suficientes e extremamente úteis para análises em series temporais. A quantificação das áreas e o cruzamento dos polígonos dos diferentes anos permitiram espacializar em mapas os padrões espaciais dos campos de dunas em função das áreas em progressão e regressão de cobertura.

As unidades geológicas inseridas nos limites da Folha Touros foram cartografadas na escala de 1:100.000 e os principais depósitos de origem eólica deste mapa foram caracterizados. A carta temática Geológica foi fundamental para definição e seleção das três áreas pilotos.

Os campos de dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte, e principalmente as dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú apresentaram uma intensa dinâmica de mudanças dos arranjos espaciais na paisagem costeira. Padrão justificado porque as transições das mudanças de cobertura do solo ocorridas entre 1970 e 2006 foram superiores a estabilidade das dunas e do seu entorno. A disposição das coberturas do solo foi transformada consideravelmente no decorrer de 36 anos.

A análise sistemática das series temporais, permite concluir que, os produtos cartográficos gerados no trabalho foram bem representativos da disposição das dunas costeiras entre os municípios de Touros e Maxaramguape. De forma que, guardadas as limitações de alguns métodos, o cenário de evolução projetado esboça diminuição gradativa da cobertura ocupada pelas dunas móveis.

Neste estudo, aplicar o sensoriamento remoto em análises temporais enfatiza a necessidade de desenvolver estratégias de gestão adequadas à sustentação da estrutura e funcionamento das dunas frontais e campos de dunas interiores que continuam ativos migrando continente adentro. Onde as tomadas de decisões devem ser norteadas pela manutenção do equilíbrio entre as exigências ecológicas e geológicas com as demandas sócio-culturais e econômicas. A obediência a premissa mencionada no início deste parágrafo fortalece a idéia de que perder área sedimentar desprovida de vegetação entendida como os campos de dunas móveis implica num impacto ecológico, social e econômico potencialmente negativo.

## 7.2. Recomendações

Alteração quantitativas referentes a diminuição da área de cobertura foram evidentes, os resultados implicam em diminuição da área dos campos de dunas móveis, entretanto, é necessário associar a análise das séries temporais em imagens de satélite com técnicas que permitam verificar se as mudanças nos padrões espaciais ocorridas foram causadas por algum fenômeno cíclico de origem natural ou se de fato foram provocadas pela ação antrópica. As mudanças de comportamento na morfologia do campo de dunas, provavelmente, deverão ser avaliadas melhor quando associadas a outras técnicas de controle geológico ou geofísico.

A modelagem estatística da mesma forma contribui positivamente para **“calibrar” resultados adquiridos. Várias análises estatísticas aplicadas às imagens** de satélites devem ser aproveitadas em trabalhos desta natureza. Recomenda-se uso de regressão logística, métricas da paisagem, modelos de simulação de cenários futuros baseados em autômatos celulares, entre outros.

Vale salientar que a dinâmica dos padrões espaciais ilustrados pelos campos de dunas móveis poderia ser apreciada juntamente com análise de um processo de natureza ecológica. Com o objetivo de perceber como o processo ecológico varia em função dos arranjos espaciais e temporais apresentados pelas dunas móveis e entorno.

A análise comparativa entre os dois métodos de mapeamento temático permitem concluir que tanto a classificação supervisionada quanto vetorização de polígonos pela análise visual são consideradas como ferramentas complementares. Fato pode ser justificado pelos resultados semelhantes entre a quantificação das áreas de dunas em meio as duas técnicas de geoprocessamento.

Por fim, levando em conta as ponderações e ajustes apontados, admite-se que embora simplista, a proposta de pesquisa apresenta técnicas e dados que, eventualmente, podem ser aplicados ao monitoramento de campos de dunas móveis visando à conservação e a manutenção dos ecossistemas dunares dispostos ao longo de toda costa do Rio Grande do Norte.

# Referências



**Referências:*****A***

Amaral, R. F. 2000. Contribuição ao Estudo da Evolução Morfodinâmica do Litoral Oriental Sul do Rio Grande do Norte, Entre Ponta de Búzios e Baía Formosa. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 252 p.

Amaral, R. F. 2003. Mapeamento dos recifes de corais do Baixo de Maracajaú. Pesquisas em Geociências (UFRGS).

Amaral R.F. (Org.). 2008. As dunas do Pólo Pitangui. Laudo Técnico, Natal, 59 p.

Amaral, R. F. e Bezerra, F.H.R. 2006. Mapping Beachrock Fracturing and Erosion Using Small Format Aerial Photography in Northeastern Brazil. Journal of Coastal Research, USA, v. 39, p. 270-274.

Amaral, R. F. e Gonçalves, L.M.G. 2006. Using Small Format Aerial Photographs (SFAP) to Map Coral Reefs in Rio Grande do Norte, Brazil. Journal of Coastal Research , v. 2, p. 1825-1828.

Amaro, V.E. 1998. Análise Conjunta de dados Geológicos, Geofísicos, Sensoriamento Remoto, do Setor Extremo Nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil, com Ênfase nas Zonas de Cisalhamento Dúcteis Neoproterozóicas. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 397p.

Amaro, V.E. e Araújo, A.B. 2008. Análise multitemporal da morfodinâmica da região costeira setentrional do Nordeste do Brasil entre os municípios de Grossos e Tibau, estado do Rio Grande do Norte. Revista Gestão Costeira Integrada 8(2). p.77-100.

Andreotti, B.; Fourriere, A.; Ould-Kaddour, F.; Murray, B.; Claudin, P. 2009. Giant aeolian dune size determined by the average depth of the atmospheric boundary layer. Nature, v. 457, p. 1120- 1123.

Angelim, 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, 2006. 119 p.

***B***

Bagnold, R.A. 1941. The physics of blown sands and desert dunes. Chapman and Hall. 266p.

Bailey, S.D. e Bristow, C.S. 2004. Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, north Wales. Geomorphology. n.59, p.165-174.

Bakr, N.; Weindorf, D.C.; Bahnassy, M.H; Marei, S.M.; El-Badawi M.M. 2010. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. *Applied Geography*. n.30. p.592–605.

Belluco, E.; Camuffo, M.; Ferrari, S.; Modenese, L.; Silvestri, S.; Marani, A.; Marani, M. 2006. Mapping salt-marsh vegetation by multispectral and hyperspectral remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. n.105. p.54–67.

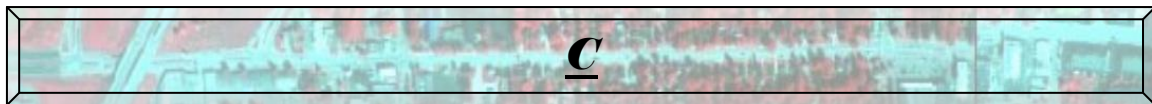
Barbosa, L.M. 1997. Campus de dunas costeiras na desembocadura do Rio São Francisco (SE/AL). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

Barreto A. M. F., Suguio K., Bezerra F. H. R., Tatumi S. H., Yee M., Guannini P. C. F. 2004. Geologia e Geomorfologia do Quaternário costeiro do Rio Grande do Norte. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 1-12.

Barrows, C. W. e Allen, M. F. 2010. Patterns of occurrence of reptiles across a sand dune landscape. *Journal of Arid Environments*. n.74. p. 186–192.

Bezerra, F. H. R.; Amaral, R.F.; Lima Filho, F. P.; Ferreira, A. V.; Sena, E. S.; Diniz, R. 2005. Beachrock Fracturing in Brazil. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, v. 42, p. 319-332.

Bezerra, F. H. R.; Barreto, A. M. F.; Suguio, K. 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. *Marine Geology*, v. 196, p. 73 – 89.



Carter R.W.G.; Nordstrom K.F.; Psuty N.P. 1990. The study of coastal dunes. In *Coastal Dunes: Forms and Process*; NORDSTROM K.F.; PSUTY N.P. e CARTER R.W.G. 1-14.

Carter R.W.G.1988. *Coastal environment*. Academic Press, London.

Castello, J.P. 2010. O futuro da pesca da aquicultura marinha no Brasil: a pesca costeira. In: *Revista sociedade brasileira para o progresso da ciência*. Natal, RN, ano 62, n. 3.

Claudino-Sales, V. 2002. Les littouraux du Ceará: evolution géomorphologique de la **zone côtière de l' Etat du Ceará, du long term au court terme**. Sorbonne. 523p. Thèse (Doctorat). Université Paris.

Claudino-Sales V. e Peulvast, J.P. 2001. Geomorfologia dos campos de dunas do estado do Ceará. In: *Simpósio ABEQUA, 8, Porto Alegre. Anais...* p.273-276.

Crósta, A. P. 1992. *Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto*. - ed.rev. – Campinas, SP, IG/UNICAMP, 4ª reimpressão. 170p.

Cunha E.M.S., Silveira I.M, Nogueira A.M.B., Vilaça J.G. 1990. Análise ambiental do setor costeiro Maxaranguape–Touros/RN. Anais Congresso brasileiro de geologia – CBG, 36, Natal, 1990, 2: 770-782.



**D**

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1984. Principais depósitos minerais no nordeste oriental. Serie Geologia. Seção Geologia Econômica. n.24. Edição comemorativa do cinquentenário.

Duarte, C.R.; Sena, I.P.S.; Menezes, C.P.; Petta, R.A. 2009. Avaliação temporal de imagens SPOT 4 para mapeamento de uso e ocupação do solo na região de Pedra Grande, litoral setentrional do Rio Grande do Norte. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1331-1337.



**E**

ESRI, 2008. ARCGIS versão 9.3. ESRI Software.



**F**

França, F.A.N.; Amaral, R.F.; Pereira, D.A. 2006. Land Use Mapping and Change Detection Assessment in the Eastern Littoral Zone of Rio Grande do Norte State, Brazil, Using GIS Techniques. Journal of Coastal Research. v. 39, p. 1635-1637.

Fernandes L.R.; Almeida, A.M.; Duarte, C.R. 2009. Evolução da cobertura vegetal no município de Carnaúba dos Dantas região do Seridó/RN. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6053-6060.

Fernandes L.R e Amaral, R.F. 2010. Folha Touros - RN/ BR: Environmental Planning for coastal áreas. 4TH URBENVIRON. Proceedings of international seminar on environmental planning and management, Niteroi, Brasil, 18-21 outubro 2010. Rio de Janeiro, Urbenviron.

Fernandes L.R e Amaral, R.F. 2009. Folha Touros (SB.25-V-C-II): o uso do sensoriamento remoto para avaliar a evolução temporal dos depósitos eólicos não-vegetados. Anais 62ª Reunião Anual da SBPC - 25 a 30 de julho de 2010 - UFRN, Natal/RN.

Ferreira, A.T.S.; Amaro, V.E.; Souza, F.E.S; Souto, M.V.S.; Silva, D.R.V.; Souza, A.S., Lima, F.B.; Melo, B.S; Araújo, A.B. 2005. Interpretação de imagens IKONOS de alta resolução aplicada ao desenvolvimento de mapas temáticos em escala

1: 10.000 do Sistema Estuarino Açu-Piranhas e seus entornos no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2417-2419.

Florenzano, T. G. 2002. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Editora Oficina de Textos.

Florenzano, T.G. 2008. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: Tereza G. Florenzano. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 31-71.

Franco, C.G.M.; Amaro, V.E.; Nascimento, M.C.; Silva, D.R V.; Lucas-Rios, V. P.; Souto, M.V.S.; Araújo, A.G. 2008. Evolução de campos de dunas móveis na porção centro-norte do litoral potiguar. In: SBG, 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais.



Girardi, J.D. e Davis, D. M. 2010. Parabolic dune reactivation and migration at Napeague, NY, USA: Insights from aerial and GPR imagery. *Geomorphology*. n.114 p. 530-541.

Giannini, P.C.F., Assine, M.L., Barbosa, L.M., Barreto A.M.F, Carvalho A.M., Sales, V.C., Maia, L.P., Martinho, C.T., Peulvast, J.P., Sawakushi, A.O., Tomazelli, L.J. 2005. Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. . In: C.R. de G. Souza, K. Suguio, A. M. dos S. Oliveira, P. E. de Oliveira. Quaternário do Brasil. Editora Holos, Ribeirão Preto, p.: 235-257.

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, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003, 253 p.

Grigio, A.M. 2008. Evolução da paisagem do baixo curso do rio Piranhas-Assu (1988-2024): Uso autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 216 p.

Grigio, A.M.; Amaro, V.E.; Diodato, M.A. 2009. Dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo, no período de 1988 a 2004, do baixo curso do rio Piranhas-Assu (RN): sugestões de acompanhamento integrado das atividades socio-econômicas impactantes em área costeira. *Geografia (Rio Claro)*, v.34, p.141-162.

Grotzinger, J.; Sivier, R.; Press, F.; Jordam, T.H. 2006. Para entender a Terra. Porto Alegre: Ed. Bookman, 656p.



## H

Hazin, F.H.V. 2010. A Amazônia azul e a sua herança para o futuro do Brasil. In: Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.

Hesp, P.A. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*. 48: 245-268.

Hesp, P.A. 2004. Coastal dunes in Tropics and Tropics and Temperature Regios: Location, Formation, Morphology and Vegetation Precesses. In: M.L.Martínez & N.P.Psuty. *Coastal Dunes, Ecology and Conservation*. Springer-Verlag. New York. *Ecological Studies*. 171: 29-49.

Hesp P. e Thom, B.G. 1990. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: Nordstrom, K.F.; Psuty, N.P.; Carter, R.W.G. *Coastal Dunes: Form and Process*. Chichester: John Wiley.

Herrmann, M. L. P.; Mendonça, M. 2007. Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina durante o período 1980 a 2004: Inundações e Estiagens Associadas aos Sistemas Meteorológicos nas Escalas Global e Regional. In: II Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia, 2007. Florianópolis- SC. II Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia - Avanços Tecnológicos da Meteorologia no Século XXI. Florianópolis: CEFET-SC,. v. 1. p. 1-13.

Hugenholtz C.H., e Wolfe, S.A., 2008. Effects of sand supply on the morphodynamics and stratigraphy of active parabolic dunes, Bigstick Sand Hills, southwestern Saskatchewan. *Can. J. Earth Sci.* 45, 321–335.

Hugenholtz C.H., Wolfe, S.A., Walker I.J., Moorman, B.J. 2009. Spatial and temporal patterns of aeolian sediment transport on an inland parabolic dune, Bigstick Sand Hills, Saskatchewan, Canada. *Geomorphology* 105, 158–170.

Hunter, R.E.; Richmond, B.M.; Alph.T. 1983. Stom controled oblique dunes of the oregon coast. *Geology society Am. Bull.*, 94, 1450-1465.



## I

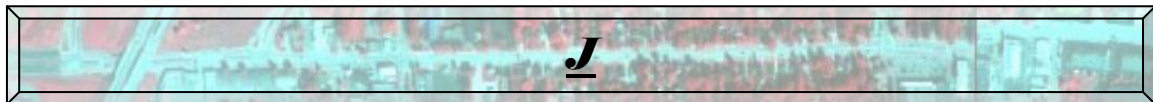
IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2008. Geociências produtos. Recursos hídricos. Disponível em:  
[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm#HIDROGEO](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#HIDROGEO).  
Acessado em: 10/03/08.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Resultados preliminares da Amostra do Censo Demográfico 2010: População do Brasil: situação em 2010. IBGE, Rio de Janeiro.

INCT. Institutos Nacionais de Ciência & Tecnologia. Projeto Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras. Disponível em:  
<<http://mudancasclimaticas.zonascosteiras.com.br/temas/sumario-do-projeto>>.  
Acesso em: 23 Mai 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catalogo de imagens. Disponível em: <<http://www.inpe.gov.br>>. Acesso em: 15 Abril 2009.

Iqbaluddin; Din, S.D.; Javed, A. 1997. Geomorphology and Landscape Evolution of Bharatpur district, Rajasthan. Journal of the Indian Society of remote sensing. v.25, n.3, p.177-186.

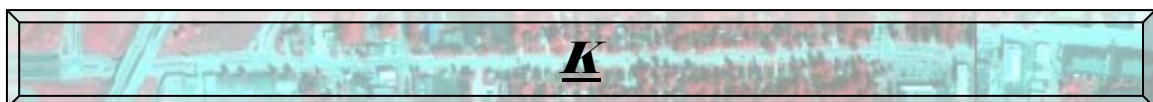


Janke, J.R. 2002. An analysis of the current stability of the Dune Field at Great Sand Dunes National Monument using temporal TM imagery (1984–1998). Remote Sensing of Environment. n.83. p.488–497.

Jensen, J.R. 1996. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.

Jensen, J.R. 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. In: Sensoriamento Remoto dos solos, minerais e geomorfologia. Editora Oficina Parêntese, São José dos Campos, p.: 511-572.

Jesus, A. P.; Amaral, R. F.; Júnior, O. F. 2006. Slope Stability Avaliation of a Sand Dune Field on Coastal Zone of Natal (RN) and it Relation with the Urban Occupation without Management. Journal of Coastal Research , v. 1, p. 1399-1402.



Klammer, G. 1982. Die palaowuste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozane klimasgeschichte der brasilienischen randtropen. Zeitschrift fur Geomorphologie. n.26. p.393-416.

Klein, A.H.F.; Pollete, M.; Hoefel, F.; Diehl, F.L.; Carvalho, J.L.B. de; Pereira da Silva, R.; Siegle, E.; Abreu, J.G.N.; Santos, M.I.F. dos; Fachin, S. 1999. Erosão costeira no litoral centro-norte de Santa Catarina: Possíveis causas e medidas mitigatórias. VII ABEQUA, Porto Seguro, BA.

Klemas, V.V., Kneck, R.W., Cicin-Sain, B., Yan, X.H., Field, R.T., Price, K.S., Dadley, M., Wong K-C., Zheng, Q. 2000. Improving the management of coastal ecosystems through management analysis and remote sensing/GIS applications: experiences from Delaware region. Delaware, Sea Grant.



## L

LEC. Laboratório de Estudos Costeiros. 2009. Pós-Graduação em Geologia UFBA. Processos, Sedimentação e Problemas Ambientais na Zona Costeira. Disponível em: <http://www.pppg.ufba.br/lec/dunas.htm>. Acessado em 8 Set 2009.

Levin, N. e Ben-Dor, E. 2004. Monitoring sand dune stabilization along the coastal dunes of Ashdod-Nizanim, Israel, 1945–1999. *Journal of Arid Environments*. n.58. p. 335–355.

Lima, J.A.M. 2010. A energia que vem do mar: a herança energética do mar brasileiro. In: *Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira*. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.

Lima, Z.M.C.; Vital, H.; Tabosa W.F. 2006. Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil. *Journal Coast Research*. Research, Brazil, v. 39, p. 598-601.

Liu, K.; Shi, W.; Zhang, H. 2011. A fuzzy topology-based maximum likelihood classification. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. n.66. p.103–114.

Lovelock, J. 2006. *A vingança de Gaia*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.

Lubke, R.A. 2004. Vegetation dynamics and succession on sand dunes of the Eastern coasts of Africa. In: M.L.Martinez e & N.P.Psuty. *Coastal Dunes, Ecology and Conservation*. Springer-Verlag. New York. *Ecological Studies*. 171: 67-82.

Luke M. C. T. e Thomas A. S. 2008. Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: a case study from Fraser Island, Australia. *Journal Coast Conservation* 12:67–82.



## M

Machado, S.J.; Albano, F.G.; Silva, R.R.S.; Silva, C.R. 2011. Análise da dinâmica dunar da praia de Lagoinha - CE por meio de dados topográficos e aerofotogramétricos. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2355.

Martin, L.; Suguio, K.; Dominguez, J.M.L.; Flexor, J.M. 1997. Geologia do quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Belo Horizonte: CPRM-FAPESP. 112p. 2 mapas.

Martinho, C.T.; Hesp, P.A.; Dillenburg, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology*. n.117. p.14–32.

Mckee, E.D. e Bigarella, J.J. 1972. Deformational structures in Brazilian coastal dunes. *Journal of Sedimentary Petrology*. V.42, n.3, p.670-681.

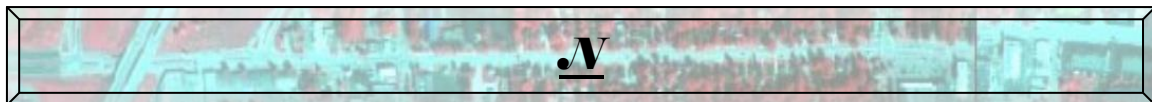
Mckee, E.D. 1979. Sedimentary structures in dunes. In: Mckee, E.D (ed). *Global Sand Sea*. US Geol. Surv. Prof. Pap., 1052, 429p.

Mclachlan, A.C.; Ascaray, P.D.T. 1987. Sand movement, vegetation successions and biomass spectrum in a coastal dune slack in Algoa Bay, South Africa. *Journal arid Environment*. n.12. p.9-25.

Meireles, A. J. A. 2011. Geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/ce-br. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, vol. 10, núm. 22, mayo-agosto, 2011, pp. 169 -190.

Metzger, J.P. 2006. Estrutura da paisagem o uso adequado de métricas. In: Cullen Júnior, L.; Padua, C. V.; Rudran, R. (Orgs). *Métodos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*. 2ed- Curitiba. Ed. Universidade federal do Paraná.

Moura-Lima, E. N.; Souza, M., O. L.; Bezerra, F.H.R.; Aquino, M., R.; Pereira, M. M. V.; Lima Filho, F. P.; Fonseca, V. P.; Amaral, R.F. 2010. Sedimentação e deformação tectônica cenozóicas na porção central da Bacia Potiguar. *Geologia USP. Série Científica*, v. 10, p. 15-28.



Nogueira, F.C.C. 2008. Estruturas Tectônicas Cenozóicas na Porção. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 104 p.

Nomura, I. 2010. O futuro da pesca da aquicultura marinha no mundo. In: *Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira*. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.

Nora, E.L.D.; Santos, J.E.; Moreira, M.A.; Santos, C.A. 2009. Caracterização ambiental dos usos e ocupação da terra em zonas de amortecimento de uma área natural legalmente protegida. Estudo de caso: Estação Ecológica de Itirapina. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5733-5740.



**O**

Odum, E. P.; Barret, G.W. 2007. Fundamentos de ecologia. São Paulo: Thomson Learnig.

Otto, R.; Kru, B.O.; Kienast, F. 2007. Degradation of an arid coastal landscape in relation to land use changes in Southern Tenerife (Canary Islands). Journal of Arid Environments. n.70. p. 527-539.



**P**

Pacheco, A.P. 2000. Aplicação multitemporal de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento à Mata do Zumbi. In: Cobrac 2000 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis SC.

Pereira, V.R. e Filho, J.T. 2009. Mapeamento de uso das terras a partir de séries históricas de imagens Landsat TM e ETM como subsídio nos estudos de impactos hidrológicos. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6053-6060.

Pinto, L.H.T e Fernandes, L.R. 2011. Multitemporal analyses of the vegetation cover of coastal sand dune ecosystems in Natal/RN, based on NDVI index. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2355.

Pinto, R.M.S; Carvalho, V.C.; Alvalá, R.C.S. 2009. Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para utilização em modelos meteorológicos. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6077-6083.

Ponzoni, F. J. e Shimabukuro, Y. E. 2007. Sensoriamento Remoto no Estudo da vegetação. Ed Parêntese. São Jose dos Campos, SP.

Pozo Díaz, M.E. 1999. Herramientas tecnológicas para el análisis de estudios de Impacto Ambiental: el SIG Arc/Info y ArcView. Apostila curso Evaluación de Impacto Ambiental-USACH. Departamento de Gestión y Ordenamento Ambiental, Universidad de Santiago de Chile.

Pye, K. e Tsoar, H. 1990. Aeolian Bed Forms. In: Aeolian sands e sand dunes. p. 152-213.

**R**

Rodrigues, J. L. P. Geografia e História do Piauí: Estudos Regionais. Teresina. Quarta edição, 2007. 329 p.

Rosseti, D.F. 2008. Ambientes Costeiros. In: Tereza G. Florenzano. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 247-283.

Ruiz-Luna, A. e Berlanga-Robles, C.A. 2003. Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology*. n.18. p.159-171.

Rust, I.C. e Illenberger, W.K. 1996. coastal dunes sensitive or not? *Landscape and urban planning*. n. 34. p.165- 169.

**S**

Sample, V.A. 1994. Realizing the potential of remote sensing and GIS in ecosystem management planning, analysis, and policymaking. In: V.A. Sample [Ed], *Remote sensing and GIS in ecosystem management*. Washington DC, Island Press.

Saye, S.E., Wal, D.V.D., Pye, K., Blott, S.J. 2005. Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: An investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology*. 72: 128-155.

Schlacher, T.A. e Thompson L.M.C. 2008. Physical Impacts Caused by Off-Road Vehicles to Sandy Beaches: Spatial Quantification of Car Tracks on an Australian Barrier Island. *Journal of Coastal Research: Issue 2, supplement*: pp. 234 - 242.

Schoeman, D. S. Use of vehicles for management purposes, permits for use for scientific research, designation of recreational use areas, licenses for boat launching sites, 2002. (UPE-Zoologia). University of Porth Elizabeth, Greater Saint Lucia Wetland Park. 2002.

Shermam, D.J. e Hotta, S. 1990. Aeolian sediment transport theory and measurement. In: Nordstrom, K.F.; Psuty, N.P.; Carter, R.W.G. *Coastal Dunes: Form and Process*. Chichester: John Wiley.

Silva, C.B. 2009. Análise da atividade turística desenvolvida na área de proteção ambiental dos recifes de corais/ RN. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009, 92p.

Silva, C.G.; Patchineelam, S.M.; Baptista Neto, J.A.; Ponzi, V.R.A. 2004. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa.

In: Introdução à geologia marinha. Baptista Neto, J.A.; Ponzi, V.R.A.; Sichel, S.E. (organizadores). Rio de Janeiro. Interciência. p. 175-218.

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. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 90 p.

Silva, D.R.V.; Castro, A.F.; Souza, C.F.; Souto, M.V.S.; Amaro, V.E. 2005. Contribuição ao desenvolvimento de um banco de dados ambientais georreferenciados, como auxílio ao monitoramento ambiental de áreas de risco à derramamentos de petróleo e seus derivados. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2417-2419.

Silva, P.C.M. 1978. Usos do mar. Publicação do instituto de pesquisas da marinha, 38p.

Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C. & Pennachin, C. L.. 2002. Dinamica – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. Ecological Modelling. 154:217-235.

Soppa, M.A.; Souza, R.B.; Pezzi, L.P. 2011. Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano atlântico sudoeste e sua relação com o fenomeno el niño-oscilação sul. revista brasileira de meteorologia, v.26, n.3, 375 – 391.

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. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 67 p.

Souto, M.; Castro, A.F.; Grigio, A.M.; Amaro, V.E.; Vital, H. 2004. Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. In: 8<sup>th</sup> International Coastal Symposium – ICS, 2004, Itapema. Journal of Coastal Research. Itajai, SC – Brasil. Journal of Coastal Research - Special issue 39.

Souza, K.G. 2010. O futuro da exploração mineral em águas brasileiras e internacionais. In: Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.

Suguio, K. 1998. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.

Suguio, K. 2003. Geologia Sedimentar. São Paulo: Ed. Blucher.

Suguio, K. 2010. Geologia do Quaternário. In: Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 13-101.

Sulsoft, 2003. ENVI versão 4.0. SulSoft Software Inc.

Sulsoft, 2003b. Guia ENVI Português – classificação de imagem – contraste de imagem. SulSoft Software Inc.



  
**T**

Tabosa W.F.; Amaro V.E.; Vital, H. 2007. Análise do ambiente costeiro e marinho, a partir de produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte, NE Brasil. Revista Brasileira de Geofísica. v.1, p.37-48.

Tatumi, S.H.; Kowata, E.A.; Gozzi,G.; Kassab, L.R.P.; Suguio, K. Barreto, A.M.F. Bezerra, F.H.R. 2003. Optical dating results of beachrock, eolic dunes and sediments applied to sea-level changes study. Journal of Luminescence. n.102-103, p.562-565.

Thomas, D.S.G. 1997. Sand seas and aeolian bed forms. In: D.S.G. Thomas (ed.) Arid zone geomorphology – Process, Form and Change in Drylands. John Wiley & Sons. p.373-411.

Tomazelli, L.J. 1993. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas. v21. n1. p.64-71.

Tinôco L.B.M. 2011. Caracterização Ambiental no Meio Ambiente Urbano: Dinâmica de uso e ocupação de uma gleba no Loteamento SanVale em Natal (RN). Laudo Técnico, Natal, 83 p.

  
**U**

Uezu, A. 2006. Uso de sistemas de informação geográfica em biologia da conservação. Cap. 18, p. 481. In: CULLEN JÚNIOR, L.; PADUA, C. V.; RUDRAN, R (Orgs) Métodos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. 2ed- Curitiba. Ed. Universidade federal do Paraná.

  
**V**

Venticinque, E. M.; Carneiro, J. S.; Moreira, M. P.; Ferreira, L. V. 2007. O uso de regressão logística para espacialização de probabilidades. Megadiversidade. Belo Horizonte. v. 3, p. 25-37.

Vital, H. 2008. Geologia e Geofísica Marinha no Rio Grande do Norte. Revista FAPERN, v. 7, p. 132-137.

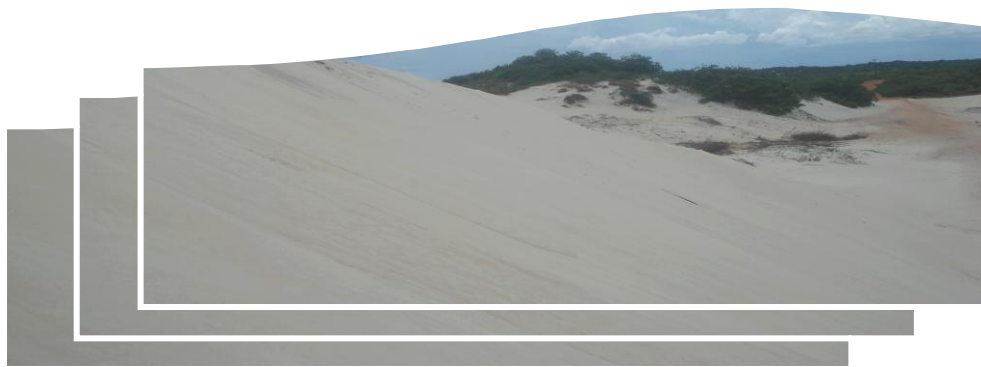
  
  
W

Walters, B.B., Rönnbäck P., Kovacs J.M., Crona B., Hussain S.A., Badola R., Primavera J.H., Barbier E., Dahdouh-Guebas F. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic botany* 89: 220-236.

Villwock, J.A., Lessa G.C., Suguio K., Angulo R.J., Dillenburg S.R. 2005. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. *In*: C.R.G. Souza, K. Suguio, A.M.S. Oliveira, P.E. Oliveira (Eds) *Quaternário do Brasil*. Holos, p.: 94-113.

WTTC. World Travel and Tourism Council. 1998. World Travel and Tourism development, a global opportunity. Disponível em: <http://gocalig.ca.gov/research/intrnl.html>.

# Apêndice - Artigo



**Apêndice - Artigo em anexo:**

Revista Gestão Costeira Integrada- RGCI/UNIVALI/  
Journal of Integrated Coastal Zone Management:

---

**Paisagem costeira do litoral oriental no Rio Grande do Norte: evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis**

*Coastal landscape of eastern coast of the State of Rio Grande do Norte: temporal evolution and special patterns of the mobile dune fields*

Lucyanno dos Reis Fernandes<sup>1,2</sup> & Ricardo Farias do Amaral<sup>1,2,3</sup>

---

**Resumo:**

Este estudo apresenta os resultados de uma pesquisa desenvolvida na região costeira entre os municípios de Maxaranguape e Touros, litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, especificamente em campos de dunas móveis. Percebe-se que os depósitos eólicos continuam migrando em continente adentro, todavia em alguns campos de dunas a área superficial de cobertura sedimentar esteja diminuindo. Teve como objetivo, cartografar a zona costeira emersa, sob ponto de vista da evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, ai incluídos sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas (SIG). Os resultados implicam na edição das cartas temáticas: mapa geológico; mapa da evolução multitemporal dos campos de dunas móveis; mapa da quantificação das diferenças dos campos de dunas móveis; mapa da evolução temporal no entorno dos campos de dunas móveis para a localidade de Touros, Zumbi e Maracajaú. A dinâmica das transições na paisagem foram superiores a estabilidade dos padrões espaciais dunas e do seu entorno, de tal forma que os campos de dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte, e principalmente as dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú apresentaram redução da área de cobertura sedimentar. Por fim, as técnicas e dados levantados, podem ser aplicados ao monitoramento de campos de dunas móveis visando a conservação e a manutenção dos ecossistemas dunares dispostos ao longo de toda costa do Rio Grande do Norte.

**Palavras chaves:** campo de dunas móveis, padrões de paisagem, sensoriamento remoto e evolução espacial-temporal.

---

© – Autor correspondente / corresponding author: [lrfc.fernandes@gmail.com](mailto:lrfc.fernandes@gmail.com)

1 –Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil.

2 –Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGEO), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil.

3 –Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil.

---

**Abstract:**

*This study show the results of a research developed in the area of coastal region between the towns of Maxaranguape and Touros, specifically in the mobile dune fields of eastern coast of the State of Rio Grande do Norte. Coastal areas, still occupying a small area in relation to the total Earth's surface, concentrated much of the population in the world. In Rio Grande do Norte the mosaic of coastal landscape that makes up the fields of mobile dunes suggests a dynamic scenario of changes in spatial and temporal arrangements, with significant modifications in surface geometry of the sedimentary cover. In this perspective the research project's main objective, to map the onshore coastal zone for the eastern coast of Rio Grande do Norte, in terms of space-time evolution of the mobile dune fields through geoprocessing techniques, there included remote sensing, digital imaging processing and information systems geographical (GIS). The results imply the issue of thematic maps: geological map, map of multi-temporal evolution of the mobile dune fields, map of the quantification of differences of the mobile dune fields, map of the temporal evolution in the surrounding dunes to the town of Touros, Zumbi and Maracajaú. The dynamics of changes in spatial arrangement in the landscape were higher stability of the spatial patterns of the dunes and its surroundings, so that the dune fields of the eastern coast of Rio Grande do Norte, and especially the dunes of the Touros, and Zumbi e Maracajaú had reduced the area of sedimentary cover. Finally, the techniques and data collected, eventually, can be applied to the monitoring of mobile dune fields to promote the conservation and maintenance of dune ecosystems arranged along the entire coast of Rio Grande do Norte.*

**Key words:** *mobile dune fields, landscape patterns, remote sensing and temporal-spatial evolution.*



## 1. INTRODUÇÃO

Zonas costeiras, ainda que ocupem uma área pequena em relação ao total da superfície terrestre, concentram grande parte da população no mundo (Walters, 2008; INCT, 2011). Considerando América do Sul, Central e Norte, a linha de costa é praticamente contínua de um pólo a outro. São regiões atrativas do ponto de vista geológico, biológico, econômico e social. Em todo planeta, a diversificada paisagem natural “desenhada” pelas praias, dunas eólicas, paredões de falésias e corais, explicam a demanda e forte ocupação das zonas costeiras. O litoral Brasileiro com 8,5 mil quilômetros de costa, desde Tramandaí/RS com suas dunas de areia até as planícies costeiras vegetadas por mangue de Bragança/PA, proporciona ao país inúmeros benefícios econômicos vinculados a fonte de renda e emprego para construção civil, gastronomia, lazer, pesca, entre outros (Hazin, 2010; Giannini, 2005).

Na perspectiva de monitoramento das dunas, o ambiente estudado se caracteriza pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, isso implica diretamente na presença de grande diversidade de feições geológicas, geomorfológicas e abundância de paisagens naturais (Villwock, 2005). Técnicas de sensoriamento remoto são comumente utilizadas para este tipo de pesquisa. O mapeamento do deslocamento das dunas torna-se viável pela comparação de imagens coletadas em séries temporais, viabilizando com isso o reconhecimento dos padrões espaciais apresentados no tempo e no espaço (escala definida), além da quantificação das alterações encontradas (Florenzano, 2008).

A noção exata da distribuição e da área ocupada por uma duna, pela

vegetação natural, por áreas urbanas, pela agricultura ou pelo solo exposto, bem como informações sobre a dimensão de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos tomadores de decisões a nível municipal, estadual e federal. Existe uma crescente busca pelas atualizações dos registros de uso do solo a fim de avaliar perspectivas futuras em relação às possíveis mudanças. Dentro do contexto, as ferramentas de geoprocessamento permitem em pequeno espaço de tempo obter diversas informações temporais, espaciais e espectrais de uma região geográfica.

Com base na análise de imagens de satélite, o estudo da evolução temporal dos campos de dunas móveis surge como mais uma ferramenta para discernir as modificações impostas ao meio ambiente. Onde a conservação e preservação dos campos de dunas passam diretamente pelo entendimento de como esses ecossistemas naturais tão sensíveis, evoluem ao longo de certo intervalo temporal e espacial. Outro fator importante está associado à redução de custo com mapeamento, o somatório das técnicas de processamento de imagens com esforço de campo acelera a detecção de mudanças ambientais e geológicas (Florenzano, 2008).

Desta forma, nota-se a importância de viabilizar estudos e disseminar pesquisas na perspectiva de verificar o que está acontecendo com o uso e ocupação do solo contemporâneo, sob o ponto de vista da manutenção da qualidade dos serviços ambientais e benefícios econômico-sociais que as dunas prestam à futura e atual geração. Neste sentido os objetivos deste trabalho foram: cartografar a zona costeira emersa do litoral oriental do Rio Grande do Norte, sob ponto de vista da evolução espaço-temporal dos

campos de dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, ai incluídos sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas (SIG). Os objetivos específicos foram: adquirir, analisar e interpretar produtos de sensores remotos contidos nos limites da Folha Touros para identificar, comparar e quantificar a evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis em dezenove anos (1988 a 2007).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Localização da Área de Estudo

A área estudada encontra-se localizada no nordeste oriental do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1 inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo) É limitada pelas coordenadas: latitude  $5^{\circ}00' - 5^{\circ}30'S$  e longitude  $35^{\circ}00' - 35^{\circ}30'W$ , correspondente aos limites da Folha Touros (SB.25-V-C-II - SUDENE). Trata-se de uma área com paisagem bastante dinâmica, como será visto. Três áreas pilotos foram recortadas da Folha Touros, tendo sido selecionadas no litoral, em função da presença de grandes campos de dunas móveis e de importantes manchas urbanas, os povoados de Touros, Zumbi e Maracajá.

### 2.2. Metodologia

Na área emersa (continental) da Folha Touros (FT) foi construído um mapa geológico na escala 1:100.000 e a partir da análise visual deste mapa foram selecionadas as áreas piloto. A partir da classificação supervisionada, das imagens orbitais destas áreas, foram elaborados mapas das superfícies não vegetadas das dunas móveis que

mostram sua evolução temporal entre 1988 e 2007 e mapas das diferenças geométricas multitemporais dos campos de dunas móveis no mesmo período, todos originalmente em escala 1:50.000.). Estas foram as cartas temáticas geradas para avaliar a evolução espaço temporal dos campos de dunas móveis na área.

Além do levantamento e estudo bibliográfico e cartográfico, os procedimentos metodológicos nesta etapa podem ser resumidos da seguinte forma:

1. seleção, aquisição e processamento dos produtos de sensores remotos (foram utilizadas cenas do sistema Landsat 5 e 7);
2. atualização do mapa geológico da Folha Touros em escala 1:100.000;
3. seleção das áreas piloto para mapeamento em escala 1:50.000;
4. classificação supervisionada com determinação das superfícies não vegetadas das dunas móveis entre 1988 e 2007;
5. quantificação das diferenças multitemporais das imagens classificadas (1988/2007).

#### 2.2.1 Seleção dos Produtos de Sensoriamento Remoto

Com base nos objetivos pretendidos decidiu-se pela utilização das imagens orbitais geradas pelo sistema Landsat. A seleção das cenas utilizadas obedeceu aos seguintes critérios: menor porcentagem de cobertura de nuvens; visualização de todos os campos de dunas costeiras presentes na área de estudo (Tabela 1 inserir figura em qualquer área da página seguinte, após este parágrafo).

Para analisar a evolução multitemporal das dunas foram selecionadas quatro cenas de imagens orbitais da série Landsat (órbita/ponto 214/64). Três do sistema Landsat5/TM (1988, 1993 e 2007) e uma do sistema Landsat 7/ETM+ (2001). Elas foram obtidas gratuitamente no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/BR).

## 2.2.2. Processamento digital de imagens (PDI)

### 2.2.2.1. Pré-processamento

O pré-processamento envolve procedimentos e técnicas de geoprocessamento que preparam e corrigem os produtos de sensoriamento remoto antes que novos dados possam ser gerados ou obtidos pela análise das imagens.

Geralmente, as imagens adquiridas apresentam sutis incompatibilidades entre sistemas de projeção. A espacialização, sobreposição e comparação dos dados são distorcidas quando essas correções são desconsideradas. A etapa de retificação geométrica é relevante para corrigir distorções e eliminar erros devido a passagem do satélite e curvatura da Terra. A correção geométrica foi feita usando como referência espacial arquivo vetorial (.shp - 1:25.000) representativo da drenagem local e pontos levantados em campo (IBGE, 2011). Procedimento aplicado no software ArcGis 9.3 (Esri, 2008).

As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor Landsat 5 TM e 7 ETM+ passaram pelo processo de fusão produzindo um único arquivo “multilayer” (.ers). O objetivo deste pré-processamento foi facilitar a manipulação das bandas durante os

testes com as combinações coloridas e permitir a análise de parâmetros estatísticos da correlação entre as bandas do sensor ETM+. Este procedimento foi realizado no aplicativo ErMapper 7.0.

### 2.2.2.2. Processamento

O processamento das imagens foi aplicado na área correspondente a Folha Touros (Figura 1) e visou auxiliar a análise visual na elaboração do mapa geológico, bem como ressaltar os corpos de dunas costeiras. As técnicas utilizadas foram a análise por Principais Componentes (PCs), a composição de bandas e a filtragem digital.

### 2.2.2.3. Análise por Principais Componentes (PCs)

Para destacar e visualizar diferentes feições ou estruturas na imagem é interessante combinar bandas com baixas correlações entre si, pois o grau de semelhança entre elas é menor, sendo assim, diferenças de estruturas na imagem são potencialmente evidenciadas.

O objetivo de avaliar as imagens através das PCs implica em identificar diferenças entre as unidades da paisagem ou realçar um alvo individualmente. Os produtos imagens PCs podem ser entendidos como novas imagens geradas a partir da separação máxima do contraste das bandas. Onde de acordo com o número de bandas, a primeira imagem gerada (PC1) possuiu a maior variedade de dados, é composta por informações de todas as bandas consecutivas.

Esta heterogeneidade de informações diminui na formação das PCs seguintes. De forma que existe um gradiente que varia da PC com maior diversidade de feições para a menor variedade de informações, conforme apresentado na Figura 2, ( inserir figura

em qualquer área desta página, após este parágrafo) esta imagem foi muito útil neste estudo por auxiliar na diferenciação das feições geológicas e identificação e realce dos limites espaciais dos campos de dunas móveis e frontais.

#### 2.2.2.4. Composição de bandas

Organizar tripletes formando composições significa inserir a cor em imagens que anteriormente eram percebidas apenas em tons de cinza, além de agregar informações a bandas específicas do espectro eletromagnético, dos sensores utilizados. Logicamente a cor domina o sistema visual humano.

RGB 321, onde a banda 3 foi inserida no canal do vermelho (Red), a 2 no canal do verde (Green), e a 1 no canal do azul (Blue). Feita a composição em cores, as imagens apresentaram-se em diferentes tonalidades representativas da superfície terrestre. Esta composição permitiu diferenciar mais claramente a área dos campos de dunas móveis do restante das feições superficiais.

RGB 521: A combinação tem como propósito realçar a visualização das dunas, da rede de drenagem dos rios, e a vegetação verde que acompanha os leitos dos mesmos. Assim, a banda quatro foi fundamental no realce de feições geomorfológicas, pedológicas e geológicas, como também, apresentou boa resposta espectral no destaque da vegetação.

Composição de bandas no espaço HSI foi testada com o intuito de extrair informações associadas às propriedades da cor (hue), saturação (saturation) e intensidade (intensity). Nessa etapa, o sistema HSI permitiu identificar com maior clareza aspectos geomorfológicos das dunas livres tais como: contato da duna livre com a vegetada; detalhes de sombreamento;

presença de sedimentos arenosos localizados nas bacias de deflação, o que facilitou a classificação das categorias de dunas a partir de sua forma nos moldes de Florenzano (2008).

R(PC5) G(PC3) B(PC4): o resultado possibilitou uma ótima delimitação de todos os campos de eólicos do litoral oriental entre Maxarambae e Touros. Nesta combinação, e com base no conhecimento prévio da área e no tralho de campo, pode-se afirmar que somente os sedimentos arenosos adjacentes à costa marcados pelos tons de rosa ilustram de fato campos de dunas frontais e móveis. Por esta razão o produto gerado na Figura 3 (inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo) foi a imagem escolhida para seleção das áreas de treinamento e efetuar a classificação estatística supervisionada, como se verá adiante. Nesta mesma figura a aplicação dos filtros direcionais no sentido nordeste permitiu evidenciar pelo efeito do sombreamento que de fato a combinação citada apresentar um realce marcante das feições geomorfológicas.

### 2.3. Trabalhos de campo: Sistema Global de Posicionamento - GPS

Através de quatro campanhas de campo vários pontos interpretados em mapas foram validados em toda a Folha Touros, 20% destes nas três áreas piloto. Foram visitados 150 afloramentos ou pontos notáveis, que permitiram calibrar a identificação das dunas móveis, e de classes de cobertura do solo. A Figura 4 mostra alguns exemplos como vistos em campo. Figura 4a Em Zumbi a direita da fotografia, feição típica de uma duna frontal adjacente a praia. Na região de Maracajaú (Figura 4 b) o destaque fica por conta das dunas móveis invadindo estradas e avançado sobre postes elétricos de iluminação pública. Ao sul

de Maracajaú (Figura 4 c), um bom exemplo da edificação de ocupações urbanas (pousada) sobre áreas de dunas frontais. Na região da praia de Touros (Figura 4 d), numa área localizada próxima ao farol, prática da atividade pesqueira evidenciada pela presença de ocupações tradicionais sobre as dunas móveis e frontais. (Figura 4 inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo)

Usou-se o Sistema de “Global Position System” (GPS) para posicionar mais de 150 pontos (UTM) nos campos de dunas e demais feições. Todos os pontos também foram registrados em fotos (Figura 4). O trabalho de campo e a obtenção desses pontos serviu de base para correção geométrica da imagens, validação das interpretações das imagens, avaliação do mapa geológico e posterior classificação das imagens. Possibilitou também fazer uma descrição detalhada da paisagem (definição das coberturas). Foi assim averiguado se as possíveis manchas de dunas nas imagens correspondiam às observações de campo.

O mapeamento realizado nesta fase aconteceu sob escala 1:100.000.

Após uma avaliação visual das cenas, dos trabalhos de campo e da elaboração do mapa geológico, verificou-se que os campos de dunas costeiras apresentavam variações geométricas que poderiam ser medidas e interpretadas, em maior detalhe, principalmente os campos de dunas móveis com cobertura desprovidas ou com pouca vegetação. Foram então selecionadas três áreas piloto, em função da presença de grandes campos de dunas móveis e de importantes manchas urbanas, os povoados de Touros, Zumbi e Maracajaú. A estas áreas foi atribuída uma dimensão de 6 por 3, 6 por 3 e 4 por 3 km e uma escala de estudo de 1:50.000, compatível com

as imagens utilizadas e com as normas da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo (CIM), a qual o Brasil é signatário (IBGE, 2011).

#### 2.4. Classificação Supervisionada

Foi feita uma classificação supervisionada do tipo Máxima verossimilhança - “maximum likelihood”, que leva em conta a ponderação das distâncias médias e utiliza parâmetros estatísticos (Crósta, 1992). Este procedimento diz respeito a associar cada pixel (valores numéricos - níveis de cinza) de uma imagem a um “rótulo”. De acordo com a resposta espectral, para cada valor numérico associado à reflexão de um pixel são identificados os tipos de coberturas da superfície terrestre, que podem ilustrar de forma temática a cobertura vegetal, solo, águas continentais, rocha exposta, entre outros. O método em questão parte do princípio de que o usuário conhece bem a paisagem costeira dos campos de dunas móveis a ser classificada e, que as áreas de treinamento foram cuidadosamente definidas em pontos representativos em todas as categorias de coberturas. Desta forma, a obediência a essas duas premissas básicas foram suficientes para a obtenção de bons resultados na classificação das áreas piloto. (mapas temáticos com classificação confiável). Os mapas de cobertura superficial foram então reamostrados para mapas booleanos de forma a ressaltar apenas a cobertura não vegetada (Figuras 5, 7 e 9).

#### 2.5. Quantificação das diferenças – multi-temporais

Além dos resultados quantitativos apresentados em tabelas e das alterações visualmente notadas pela

comparação entre mapas, verificou-se necessidade de comparar as diferenças entre os arranjos espaciais para cada intervalo de tempo. Para isto foi utilizado o método “diferença simétrica”. Este método aplicado fornece informação sobre aumento e diminuição da cobertura sedimentar dos sistemas dunares que diretamente gera informações sobre a migração da duna móvel continente adentro.

Utilizando software de geoprocessamento ArcGis 9.3 (Esri, 2008), todas as camadas representativas dos campos de dunas 1988, 1993, 2001 e 2007 foram sobrepostas, em ordem crescente de ano de aquisição. Empregou-se ferramenta “symmetricaldifference” (arctoolbox – search – intersect – symmetricaldifference).

Ao sobrepor uma camada mais antiga sobre outra mais recente foi possível obter e visualizar as diferenças temporais entre as áreas das dunas. A superfície não vegetada ilustrada pela cor vermelha indica que aquela respectiva cobertura arenosa diminuiu, em contra partida, a região marcada pela cor azul sugere que a superfície sedimentar ou área da duna aumentou em determinado intervalo de tempo. Produto desta técnica é um mapa com valores positivos para regiões que aumentaram sua cobertura sedimentar e valores negativos para áreas que sofreram redução da cobertura (figuras 6, 8 e 10).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análise Multitemporal dos campos de dunas móveis - LANDSAT (1988, 1993, 2001 e 2007).

No processamento de imagens digitais, a identificação das dunas pode ser facilmente extraída de uma cena de

satélite, o destaque acontece em função da assinatura espectral, estrutura sedimentar e composição mineral dos sedimentos presentes na duna. Através do processamento é possível reconhecer visualmente feições eólicas típicas de dunas como, por exemplo, a geometria das dunas parabólicas. Por isso, foi factível extrair os polígonos representativos das dunas móveis usando o método da classificação estatística supervisionada.

Conforme Tabela 2 (inserir tabela em qualquer área desta página, após este parágrafo), em 1988 a superfície não vegetada com elevada resposta espectral ilustrara os campos de dunas de maior área, são eles; o de Touros, Zumbi e de Maracajuá, eles estão nitidamente “conectados” pelo cordão de dunas frontais. Estas dunas ativas de menor porte exercem função de ligar as dunas com maior área superficial e maior volume de sedimentos arenosos. Em 1993 percebe-se que as dunas frontais reduzem em número e algumas regiões chegam quase a desaparecer.

As alterações temporais nos campos de dunas são percebidas rapidamente após uma análise crítica visual, a disposição espacial das dunas através da classificação supervisionada ilustra bem a idéia de temporalidade e a quantificação, finalmente, calibra e confirma os resultados evidenciados nos mapas, quanto a perda ou ganho em área.

Com as imagens utilizadas a análise multitemporal evidencia mudanças nos padrões de disposição e migração dos campos de dunas. No ano de 1988 as dunas móveis apresentavam maior área de cobertura não vegetada, do que em 2007. Neste ano as ocupações urbanas presentes eram incipientes.



Em 1988, em toda a área, ou seja, no litoral oriental entre Ceará - mirim e Touros, a superfície não vegetada equivalia a 25 km<sup>2</sup>, depois de cinco anos houve uma perda aproximada de 6 km<sup>2</sup> e em 2007 a redução implicou em 13 km<sup>2</sup>. Esta tendência pode ser observada com mais detalhe na a Figura 5 (inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo), referente ao recorte da área piloto na região de Touros.

Entre 1993 e 2001, em oito anos, na soma das áreas dos campos de dunas estudados, ocorreu à menor perda da superfície não vegetada (dunas móveis), em algumas áreas ao longo de todo litoral, observa-se que houve até crescimento na área da superfície não vegetada, que pode ser explicado pelo aporte de sedimento para o interior dos campos de dunas mais representativos (Touros, Zumbi, Maracajaú) ou pela simples redução da cobertura vegetal. Dos três períodos de tempo este foi o único que apresentou um avanço em área de cobertura não vegetada efetivamente representativa. Entre os dois intervalos de tempo, (1993 e 2001) esta nova informação pode justificar a menor diferença, ou seja, a queda dos 19 km<sup>2</sup> para 16 km<sup>2</sup>, resultando em apenas 3 km<sup>2</sup> de área perdida (Tabela 2). A Figura 6 (inserir figura em qualquer área da página seguinte, após este parágrafo) ilustra a tendência entre as modificações multitemporais e espaciais das dunas entre 1988 e 2007 quanto ao balanço entre perdas e ganhos para área piloto em Touros.

No terceiro intervalo de tempo da análise multitemporal, ente 2001 e 2007, a diferença entre as áreas das superfícies sedimentares não vegetadas equivale a quase 5 km<sup>2</sup>. Em 2001 a cobertura não vegetada da paisagem correspondente a todos os campos de dunas móveis compreendia cerca de 16 km<sup>2</sup> passando a 12 km<sup>2</sup> (Tabela 2).

Neste caso como entre 1993 e 2001, também houve aumento da área, todavia, na escala de mapeamento utilizada, não foi representativo. No entanto, para efeito de cálculo, apesar de expressar um pequeno valor, foi contabilizado nos resultados (Tabela 2; Figura 5).

Os arranjos espaciais apresentados pelos campos de dunas móveis em Zumbi evidenciaram uma perda abrupta da superfície não vegetada entre os anos de 2001 e 2007. Conforme a Figura 7 (inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo), a porção frontal da duna, apresentou grandes espaços vazios que foram considerados pela análise das diferenças como área perdida (Figura 8 inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo). A princípio pode ter sido causado pelos erros ou “confusões” gerados a partir da classificação supervisionada. No entanto, foi nesse intervalo de tempo que as turbinas eólicas do parque eólico de Zumbi foram instaladas. Apesar de não ser possível afirmar com precisão a causa direta desta redução local (área perdida) na duna da área piloto de Zumbi, tanto a instalação das turbinas eólicas como as “confusões” ocasionadas pela classificação estatística, implicam em duas justificativas que podem explicar a diminuição em área ocorrida entre os anos de 2001 e 2007.

Avaliando os acréscimos e perdas, evidentemente existe uma complexa dinâmica orientando os movimentos das massas de areia presentes nas dunas móveis que por hora introduz sedimentos e depois os retira. De fato, os dados gerados indicam que a quantidade de sedimento que está sendo perdida não é depositada, pois no decorrer da evolução os valores quantificados indicam diminuição de área em

praticamente todas series temporais. A duna não é “retroalimentada” pela fonte de areia que vem da costa pela contribuição do cordão de dunas frontais paralelos à costa.

Existem algumas hipóteses que tentam explicar este fenômeno: o aporte sedimentar pelas dunas frontais continua ocorrendo, entretanto ele pode ser bloqueado pelas ocupações urbanas antes de alcançar ou suprir a duna móvel. Outra explicação sugere que as condições climáticas naturais (direção das correntes, altura e frequência de ondas, amplitude de marés, etc) associadas ao aporte sedimentar de origem marinha para dunas frontais são insuficientes para suprir de sedimentos a duna frontal e, conseqüentemente as dunas móveis. Mesmo assim, a competência do vento é efetiva para mover as partículas sedimentares e o campo continua ativo migrando continente adentro. A desestruturação da duna frontal pela ocorrência de estradas e ocupação urbana sobre a mesma, provavelmente é a causa de maior ocorrência da diminuição da cobertura sedimentar desprovida de vegetação, ou seja, redução da área das dunas móveis, ao longo da evolução temporal entre 1988 e 2007.

Em síntese não existe um fator isolado para explicar a redução da cobertura sedimentar sem vegetação eventualmente os impactos: o aporte sedimentar bloqueado pelas ocupações urbanas; condições climáticas naturais; A desestruturação da duna frontal pela ocorrência de estradas e ocupação urbana podem agir em conjunto afetando diretamente a estrutura e manutenção das dunas frontais. Em Maracajá a análise da evolução multitemporal da paisagem costeira demonstra claramente que os cordões dunares frontais estão desaparecendo (Figuras 9 e 10 inserir figuras em

qualquer área da página seguinte antes do item 4).

No intervalo entre 1988 a 2007, parece ter havido um balanço sedimentar negativo. Os resultados mostram uma perda de área da superfície não vegetada inicial em 13 km<sup>2</sup> quase 50% da cobertura original em 1988, que era aproximadamente 26 km<sup>2</sup>.

Em linhas gerais nota-se que a paisagem costeira estendida do município de Ceará-mirim a Touros é acompanhada de inúmeros campos de dunas, predominantemente parabólicas, com sutis diferenças em sua geometria ou geoforma. Por exemplo, verifica-se a existência de campos de dunas com formas estreitas e alongadas (Campo de duna em Maracajá), enquanto outras dunas são curtas e longitudinalmente espessas (Campo de duna em Zumbi). Ao longo da linha da costa existem cordões dunares longitudinais bem ligados uns com os outros, alguns maiores em extensão territorial, além de pequenas dunas ou manchas de cobertura sedimentar livres de vegetação que podem representar pontos de ligação entre uma duna móvel e campo de duna vizinho. Vale salientar que o aumento ou diminuição da superfície não vegetada nos campos de dunas pode estar relacionada também a uma variação no comportamento da cobertura vegetal, por razões climáticas. No mosaico da paisagem costeira composto por dunas móveis e fixas (ou vegetadas), o regime de precipitação pode favorecer o desenvolvimento e crescimento da cobertura vegetal, isso implica na transição ou substituição das dunas móveis pelas dunas vegetadas, devido ao fator climático da precipitação pluviométrica.



#### 4. DISCUSSÃO

O uso de produtos de sensores remotos foram fundamentais e eficientes para mapeamento em nível de detalhe dos campos de dunas móveis e ocupação do solo do litoral oriental no RN. A interpretação de imagens Landsat e os trabalhos de campo forneceram evidências morfológicas suficientes para confirmar que os depósitos eólicos ainda continuam ativos, foram mapeadas dois tipos principais de dunas costeiras; as parabólicas vegetadas e não vegetadas, também denominadas fixas e livres (Amaral, 2000). Questionou-se neste mesmo trabalho, qual a interferência da quantidade e disposição de lagoas interdunares nos fatores que levam a formação das dunas.

Barreto et al. (2004), apresentou carta temática geológica-geomorfológica para parte do litoral do estado do RN, com destaque para os depósitos eólicos. Fotografias aéreas e imagens de satélite em escala de 1:70.000 e 1:100.000. Em função da estabilização, somente um ainda continua ativo, segundo classificação do autor, os últimos três restantes são campos de dunas inativos. Na perspectiva de elucidar o que ocorre com a evolução da região costeira, alguns artigos, enfatizam a necessidade de complementar a análise visual de produtos de sensoriamento remoto às perspectivas de mudanças no nível relativo do mar através de métodos de datações (Tatumiet al. 2003).

Na região de Galinhos, litoral setentrional do RN, perfis de praia foram aplicados para avaliar temporalmente as variações na linha de costa e suas implicações para evolução costeira da área emersa (Lima et al. 2006; Vital, 2008). Em Amaro e Araújo (2008), este fato foi mencionado. O avanço da linha de costa na direção do

continente pode estar também relacionado ao atual quadro de ocupação que tem ocorrido de modo desordenado, e devem ter interferido no decorrer das últimas quatro décadas, no fluxo sedimentar que alimenta a interface costeira e dunas ativas presentes entre os municípios de Grossos e Tibau/RN. No município de Guamaré-RN, a integração de imagens óticas na perspectiva multitemporal apresentou evidências e localizou áreas vulneráveis ou sensíveis ambientalmente. A dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo, entre os anos de 1988 a 2004, novamente sugerem a perturbação antrópica como agente modificador da paisagem (Grigioet al., 2009). No litoral setentrional do estado do RN, as categorias de cobertura da terra foram avaliadas temporalmente através de imagens SPOT 4. Os resultados do mapeamento evidenciaram intensa dinâmica de mudanças nos arranjos espaciais das unidades de uso. Entre as classes mapeadas, as dunas móveis chamam atenção, porque implicaram em aumento de área ocupada entre 1996 e 2005 (Duarte, et al., 2009).

Uma série de trabalhos e artigos enfatiza a participação antrópica foi associada aos muitos conflitos gerados em decorrência da ocupação desordenada. Talvez se os processos geomorfológicos e ecológicos que controlam o funcionamento dos campos de dunas e praias fossem melhores conhecidos, os impactos negativos aos ambientes costeiros seriam minimizados (Amaral e Bezerra, 2006; Souto et al. 2004; Grigio, A.M. 2003; Grigio, A.M. 2008; Suguio, 2010).

##### 4.1 Evolução das Dunas costeiras no litoral oriental do RN

As evidências demonstram claramente tanto pelos dados quantificados (Tabela 2) quanto pela

análise dos mapas (Figuras 5; 7 e 9) que os campos de dunas ativas do litoral do Rio Grande do Norte estão envolvidos em processos de perda de cobertura sedimentar. Segundo Bailey & Bristow (2004), em Aberffraw, Anglesey, northWales por meio de interpretação de fotografias aéreas, as dunas móveis (baresand) foram monitoradas entre os anos de 1940 e 1993, o panorama proposto e os resultados quantitativos implicam na redução gradativa da cobertura sedimentar. O ritmo de diminuição é semelhante ao cenário encontrado nas dunas do litoral do RN, onde as taxas de perdas sedimentares (diminuição da cobertura de área não vegetada) são maiores que as taxas de entrada de sedimentos na duna (Figura 6; Figura8; Figura10).

Na citação acima a causa principal dos impactos negativos inerentes a diminuição de cobertura sedimentar é a “pressão” exercida pelas estradas sobre as dunas, enquanto, que no litoral estudado, a redução é justificada pelo avanço das áreas urbanas sobre os cordões dunares frontais (fonte de sedimentos) e pelos fenômenos geológicos de ordem natural. Assim como no RN, os autores afirmam que ainda há migração, entretanto o ritmo enfraquece na mesma proporção que a área superficial diminui. Sob estas condições as dunas tendem a estabilização ou podem desaparecer por completo sendo substituídas por outras coberturas de origem antrópica e natural (Sample, 1994).

Na Austrália, em “BarrierIsland” Schlacher e Thompson (2008), observaram que a densidade de veículos “off-road” 4x4 intensificaram o deslocamento artificial da areia presentes nas dunas frontais. Praticamente 50% da cobertura sedimentar (em grãos de areia) das “foredunes” foram deslocadas pelo

impacto causado pelos carros (Luke e Thomas, 2008). Semelhante com os fenômenos de desmatamentos, fazendo uma analogia simplista, é como se as estradas formadas pelos carros “fragmentassem” o campo de duna frontal afetando diretamente a estrutura e, o funcionamento no que se refere ao suprimento de sedimentos para dunas interiores. No RN já existem estudos nesta perspectiva, mas ainda em fase preliminar, mesmo assim, é nítido o impacto causado pelo tráfego de veículos sobre as dunas. Em Maracajaú, por exemplo, na alta estação, centenas de “buggieiros” transportando turistas de toda parte do mundo exibem suas manobras ousadas ao se deslocarem em alta velocidade sobre “paredões de areia” com altura variando entre 10 e 15 metros. A passagem destes veículos “buggy” pelas dunas potencialmente geram um efeito erosivo, pois de forma artificial disponibilizam sedimentos que naturalmente deveriam permanecer depositados nos campos de dunas móveis.

Em dunas costeiras de Israel, a interpretação de fotografias em torno de 50 anos, enfatiza a preservação das dunas de areia pela manutenção da cobertura vegetal. É comum em zonas costeiras, que o mosaico da paisagem seja composto principalmente pelas formações eólicas: dunas de areia (móveis) e dunas vegetadas (fixas), onde geralmente as “manchas” cobertura vegetal estão dispostas ou espacialmente inseridas na matriz da paisagem dominada pelas dunas móveis. Sob estas condições, resultados evidenciam que a migração, avanço, diminuição e diminuição em área destas unidades arenosas dependem indiretamente da manutenção da vegetação adjacente as mesmas (Levin E Bem-Dor, 2004). Os resultados aqui apresentados, evidenciam cenário bem semelhante. A manutenção das dunas vegetadas em toda linha de costa de

Ceará- Mirim a Touros, e principalmente nos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú devem ser cuidadosamente preservados. Nestas dunas o mosaico da paisagem é composto basicamente por duna móvel (apenas sedimentos livres sem presença de vegetação) e dunas vegetadas (os sedimentos arenosos são fixados sob a cobertura vegetal). Conforme descrito por Schoeman (2002) e Rodrigues (2007), a preservação da vegetação na região costeira diminui a mobilidade das dunas. Partindo do pressuposto citado, é intuitivo afirmar que a dinâmica da paisagem costeira no RN e localmente em Touros, Zumbi e Maracajaú é provavelmente sensível aos mesmos efeitos. Esse comportamento justificaria hipótese de substituição das dunas de areia para formação de bacias de deflação geralmente vegetadas. Resumindo, o cenário de alterações nos padrões da paisagem sugere um relativo efeito “cascata”; onde ao longo da evolução temporal, a retirada da duna vegetada afeta a estrutura e manutenção das dunas móveis que por sua vez diminuem em área, cedendo espaço as ocupações urbanas que avançam sobre dunas frontais e interiores.

No México, usando o mesmo princípio metodológico de avaliar a dinâmica temporal de áreas costeiras por meio de mapeamento, classificação supervisionada e quantificação das diferenças, Ruiz-Luna e Berlanga-Robles (2003), obtiveram como resultados mais significativos dos seus mapas, a transição de áreas naturais (lagunas e dunas de areia) para avanço de áreas urbanas. Eles afirmam que no decorrer dos 24 anos da escala temporal a cobertura corresponde às áreas antrópicas (urbana e agricultura) cresceu aproximadamente 104%.

No Rio Grande do sul, nove campos de dunas móveis foram monitorados sob o ponto de vista da

evolução temporal por meio de fotografias aéreas complementadas pela observação de produtos LANDSAT dos sensores ETM+, TM e MSS. A perda em cobertura de sedimentar pode ser explicada por dois aspectos: pressões antrópicas sobre as dunas frontais (Figura 11 inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo) pela influência das estradas e aumento da ocupação urbana ou se explicaria pela estabilização natural do campo de duna transgressivo ao se afastar da linha de costa e das frontais, que funcionalmente representam fontes de suprimento arenoso para as dunas transgressivas interiores. Mudanças na estrutura e composição de paisagens costeiras podem ser facilmente mapeadas e quantificadas através do uso do SIG juntamente com produtos de sensoriamento remoto (Klemaset al., 2000).

Em Santa Catarina, assim como na zona costeira de Touros, Zumbi e Maracajaú, o desenvolvimento do setor turístico apoia-se nas características naturais e nas belezas cênicas da região. As dunas destas regiões tem em comum o fato de receberem contínuos aporte de areia, transportadas pelos ventos dominantes, sendo caracterizadas pela influência mútua de areia com as praias e das praias com dunas frontais que por sua vez fornecem sedimentos para dunas interiores (geralmente transgressivas). Existe um sistema dinâmico que originalmente começa a transportar sedimentos de origem marinha para praia, destas para dunas frontais e, conseqüentemente para dunas móveis interiores. Reciprocamente este modelo se reconstitui naturalmente (Klein et al., 1999). O mesmo autor alerta que o avanço desregrado das áreas urbanas (do turismo e ocupações tradicionais) sobre dunas frontais pode impactar negativamente o sistema resultando em

mudanças indesejáveis à paisagem litorânea.

O monitoramento da dinâmica dunar de um corpo de dunas localizado na praia de Lagoinha, na cidade de Paraipaba/CE, nos anos de 2002 e 2007, foi aplicado através de levantamento topográfico nos dois períodos e mosaico de fotografias aéreas. Portanto, entre os anos de 2002 e 2007, existiu deslocamento pontual das dunas em direção à cidade, o deslocamento foi de 24.63 m, 21.21m e 6.29m, respectivamente, em três níveis entre a duna e área urbana. Observa-se que os menores deslocamentos estão associados às áreas com maior concentração de vegetação. A migração das dunas em direção à cidade merece atenção porque pode tomar maiores proporções ao transpor a área que contém vegetação, ou seja, as dunas podem ter maior facilidade em deslocar-se pela área urbana (Machado et al., 2011). Através de marcação de pontos e registros fotográficos para levantamento de afloramentos geológicos, Fernandes e Amaral (2010), na praia de Maracajaú em um ano de monitoramento mensal (setembro 2009 a setembro 2010), identificou dinâmica espacial semelhante ao ocorrido na praia de Lagoinha/CE. Esta movimentação merece atenção devido ao risco de propagação da duna ativa sobre estradas, casas e fiação elétrica (Figura 12 inserir figura em qualquer área desta página, após este parágrafo).

O mapeamento das unidades geoambientais nas proximidades do sistema estuarino Açú-Piranhas/RN, fundamentados na interpretação de imagens multiespectrais do sistema IKONOS (alta resolução), resultou na quantificação do uso e ocupação do solo onde a classe “duna” contribuiu somente com 10% de área no mosaico da paisagem total (Ferreira et al., 2005). Segundo Souto (2004), a utilização de

SIG's aplicado ao ordenamento da região costeira e das atividades socioeconômicas existentes na região da Ponta do Tubarão apresenta diversas vantagens, que incluem o benefício da integração das técnicas de processamento digital de sensores remotos e a classificação temática com a análise espacial. O mapeamento realizado nesta região localizada na porção do litoral setentrional considerou que os depósitos de origem eólica, ou seja, as dunas móveis e fixas estão inseridas na categoria de vulnerabilidade alta a muito alta, em termos quantitativos isto representa aproximadamente 75% da paisagem total. Vale salientar que a maior parte das dunas ativas mapeadas estavam inseridas na classe vulnerabilidade de “alta”, fato que remete uma atenção especial quanto a fragilidade destes ecossistemas dunares.

## 5. CONCLUSÕES

Os campos de dunas do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte entre os municípios Maxaramguape e Touros foram devidamente cartografados e avaliados quanto aos arranjos espaciais apresentados, sob o ponto de vista da dinâmica espaço-tempo.

As imagens multiespectrais da família Landsat5TM e 7ETM+ foram suficientes e extremamente úteis para análises em séries temporais. A quantificação das áreas e o cruzamento dos polígonos dos diferentes anos permitiram espacializar em mapas os padrões espaciais dos campos de dunas em função das áreas em avanço e diminuição de cobertura.



As unidades geológicas inseridas nos limites da Folha Touros foram cartografadas na escala de 1:100.000 e os principais depósitos de origem eólica deste mapa foram caracterizados. A carta temática Geológica foi fundamental para definição e seleção das três áreas pilotos.

Os campos de dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte, e principalmente as dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú apresentaram uma intensa dinâmica de mudanças dos arranjos espaciais na paisagem costeira. Padrão justificado porque as transições das mudanças de cobertura do solo ocorridas entre 1970 e 2006 foram superiores a estabilidade das dunas e do seu entorno. A disposição das coberturas do solo foi transformada consideravelmente no decorrer de 36 anos.

A análise comparativa entre os dois métodos de mapeamento temático, permitem concluir que tanto a classificação supervisionada quanto vetorização de polígonos pela análise visual são consideradas como ferramentas complementares. Fato pode ser justificado pelos resultados semelhantes entre a quantificação das áreas de dunas em meio as duas técnicas de geoprocessamento.

A análise sistemática das series temporais, permite concluir que, os produtos cartográficos gerados no trabalho foram bem representativos da disposição das dunas costeiras entre os municípios de Touros e Maxaramanguape. De forma que, guardadas as limitações de alguns métodos, o cenário de evolução projetado esboça diminuição gradativa da cobertura ocupada pelas dunas móveis.

Neste estudo, aplicar o sensoriamento remoto em análises

temporais enfatiza a necessidade de desenvolver estratégias de gestão adequadas a sustentação da estrutura e funcionamento das dunas frontais e campos de dunas interiores que continuam ativos migrando continente adentro. Onde as tomadas de decisões devem ser norteadas pela manutenção do equilíbrio entre as exigências ecológicas e geológicas com as demandas sócio-culturais e econômicas.

## AGRADECIMENTOS

A equipe do Laboratório de Estudos Geoambientais/ LEGEO/ UFRN, pelas instalações e disponibilização de equipamentos que nos permitiu concluir este projeto. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pelas imagens cedidas gratuitamente. Ao programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica na pessoa do coordenador Zorano Sergio e da Secretária Nilda Araújo pelo apoio e por fim, a CAPES por viabilizar o trabalho através da bolsa de pesquisa concedida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, R. F. (2000). Contribuição ao Estudo da Evolução Morfodinâmica do Litoral Oriental Sul do Rio Grande do Norte, Entre Ponta de Búzios e Baía Formosa. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 252 p.



- Amaral, R. F. e Bezerra, F.H.R. (2006). Mapping Beachrock Fracturing and Erosion Using Small Format Aerial Photography in Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research, USA*, v. 39, p. 270-274.
- Amaro, V.E. (1998). Análise Conjunta de dados Geológicos, Geofísicos, Sensoriamento Remoto, do Setor Extremo Nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil, com Ênfase nas Zonas de Cisalhamento Dúcteis Neoproterozóicas. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 397p.
- Amaro, V.E. e Araújo, A.B. (2008). Análise multitemporal da morfodinâmica da região costeira setentrional do Nordeste do Brasil entre os municípios de Grossos e Tibau, estado do Rio Grande do Norte. *Revista Gestão Costeira Integrada* 8(2). p.77-100.
- Bailey, S.D. e Bristow, C.S. (2004). Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, north Wales. *Geomorphology*.n.59, p.165–174.
- Barreto A. M. F., Suguio K., Bezerra F. H. R., Tatum S. H., Yee M., Guannini P. C. F. (2004). Geologia e Geomorfologia do Quaternário costeiro do Rio Grande do Norte.
- Bezerra, F. H. R.; Amaral, R.F.; Lima Filho, F. P.; Ferreira, A. V.; Sena, E. S.; Diniz, R. (2005). Beachrock Fracturing in Brazil. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, v. 42, p. 319-332.
- Crósta, A. P. (1992). Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto. - ed.rev. – Campinas, SP, IG/UNICAMP, 4ª reimpressão. 170p.
- Duarte, C.R.; Sena, I.P.S.; Menezes, C.P.; Petta, R.A. (2009). Avaliação temporal de imagens SPOT 4 para mapeamento de uso e ocupação do solo na região de Pedra Grande, litoral setentrional do Rio Grande do Norte. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1331-1337.
- ESRI (2008). ARCGIS versão 9.3. ESRI Software.
- Fernandes L.R e Amaral, R.F.( 2010). FolhaTouros - RN/ BR: Environmental Planning for coastal áreas. 4THURBENVIRON.Proceeding sofinternationalseminaronenvironmentalplanningand management, Niteroi, Brasil, 18-21 outubro 2010.Rio de Janeiro, Urbenviron.
- Ferreira, A.T.S.; Amaro, V.E.; Souza, F.E.S; Souto, M.V.S.; Silva, D.R.V.; Souza, A.S., Lima, F.B.; Melo, B.S; Araújo, A.B. (2005). Interpretação de imagens IKONOS de alta resolução aplicada ao desenvolvimento de mapas temáticos em escala 1:10.000 do Sistema Estuarino Açú-Piranhas e seus entornos no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2417-2419.
- Florenzano, T.G. (2008). Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: Tereza G. Florenzano.



- Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 31-71.
- 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, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003, 253 p.
- Grigio, A.M. (2008). Evolução da paisagem do baixo curso do rio Piranhas-Assu (1988-2024): Uso autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 216 p.
- Grigio, A.M.; Amaro, V.E.; Diodato, M.A. (2009). Dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo, no período de 1988 a 2004, do baixo curso do rio Piranhas-Assu (RN): sugestões de acompanhamento integrado das atividades socio-econômicas impactantes em área costeira. *Geografia (Rio Claro)*, v.34, p.141-162.
- Hazin, F.H.V. (2010). A Amazônia azul e a sua herança para o futuro do Brasil. In: *Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira*. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.
- IBGE. Institutos Nacionais de Geografia e estatística. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm#MAPAS](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#MAPAS). Acesso em: 20 Out 2011.
- INCT. Institutos Nacionais de Ciência & Tecnologia. Projeto Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras. Disponível em: <<http://mudancasclimaticas.zonascosteiras.com.br/temas/sumario-do-projeto>>. Acesso em: 23 Mai 2011.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 Abril 2009.
- Klein, A.H.F.; Pollete, M.; Hoefel, F.; Diehl, F.L.; Carvalho, J.L.B. de; Pereira da Silva, R.; Siegle, E.; Abreu, J.G.N.; Santos, M.I.F. dos; Fachin, S. (1999). Erosão costeira no litoral centro-norte de Santa Catarina: Possíveis causas e medidas mitigatórias. VII ABEQUA, Porto Seguro, BA.
- Klemas, V.V., Kneck, R.W., Cicin-Sain, B., Yan, X.H., Field, R.T., Price, K.S., Dadiey, M., Wong K-C., Zheng, Q. (2000). Improving the management of coastal ecosystems through management analysis and remote sensing/GIS applications: experiences from Delaware region. Delaware, Sea Grant.
- Levin, N. e Ben-Dor, E. (2004). Monitoring sand dune stabilization along the coastal dunes of Ashdod-Nizanim, Israel, 1945–1999. *Journal of Arid Environments*. n.58. p. 335–355.

- Lima, J.A.M. (2010). A energia que vem do mar: a herança energética do mar brasileiro. In: Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.
- Lima, Z.M.C.; Vital, H.; Tabosa W.F. (2006). Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil. *Journal Coast Research*. Research, Brazil, v. 39, p. 598-601.
- Machado, S.J.; Albano, F.G.; Silva, R.R.S.; Silva, C.R. (2011). Análise da dinâmica dunar da praia de Lagoinha - CE por meio de dados topográficos e aerofotogramétricos. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2355.
- Pacheco, A.P. (2000). Aplicação multitemporal de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento à Mata do Zumbi. In: Cobrac 2000 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis SC.
- Rodrigues, J. L. P. (2007). Geografia e História do Piauí: Estudos Regionais. Teresina. Quarta edição, 329 p.
- Rosseti, D.F. (2008). Ambientes Costeiros. In: Tereza G. Florenzano. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 247-283.
- Ruiz-Luna, A. e Berlanga-Robles, C.A. (2003). Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology*. n.18.p.159–171.
- Schlacher, T.A. e Thompson L.M.C. (2008). Physical Impacts Caused by Off-Road Vehicles to Sandy Beaches: Spatial Quantification of Car Tracks on an Australian Barrier Island. *Journal of Coastal Research: Issue 2, supplement*: pp. 234 – 242.
- Schoeman, D. S. Use of vehicles for management purposes, permits for use for scientific research, designation of recreational use areas, licenses for boat launching sites, (2002). (UPE-Zoologia). University of Porth Elizabeth, Greater Saint Lucia Wetland Park..
- Souto, M.; Castro, A.F.; Grigio, A.M.; Amaro, V.E.; Vital, H. (2004). Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. In: 8th International Coastal Symposium – ICS, 2004, Itapema. *Journal of Coastal Research*. Itajai, SC – Brasil. *Journal of Coastal Research - Special issue* 39.
- Souza, K.G. (2010). O futuro da exploração mineral em águas brasileiras e internacionais. In: Revista para o progresso da ciência para a sociedade brasileira. Natal, RN, ano 62, n. 3, 2010.
- Suguió, K. (2010). Geologia do Quaternário. In: Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 13-101.



- Tatumi, S.H.; Kowata, E.A.; Gozzi, G.; Kassab, L.R.P.; Suguio, K. Barreto, A.M.F. Bezerra, F.H.R. (2003). Optical dating results of beachrock, eolic dunes and sediments applied to sea-level changes study. *Journal of Luminescence*. n.102–103, p.562–565.
- Vital, H. (2008). Geologia e Geofísica Marinha no Rio Grande do Norte. *Revista FAPERN*, v. 7, p. 132-137.
- Villwock, J.A., Lessa G.C., Suguio K., Angulo R.J., Dillenburg S.R. (2005). Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: C.R.G. Souza, K. Suguio, A.M.S. Oliveira, P.E. Oliveira (Eds) *Quaternário do Brasil*. Holos, p.: 94-113.
- Walters, B.B., Rönnbäck P., Kovacs J.M., Crona B., Hussain S.A., Badola R., Primavera J.H., Barbier E., Dahdouh-Guebas F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic botany* 89: 220-236.



## FIGURAS:

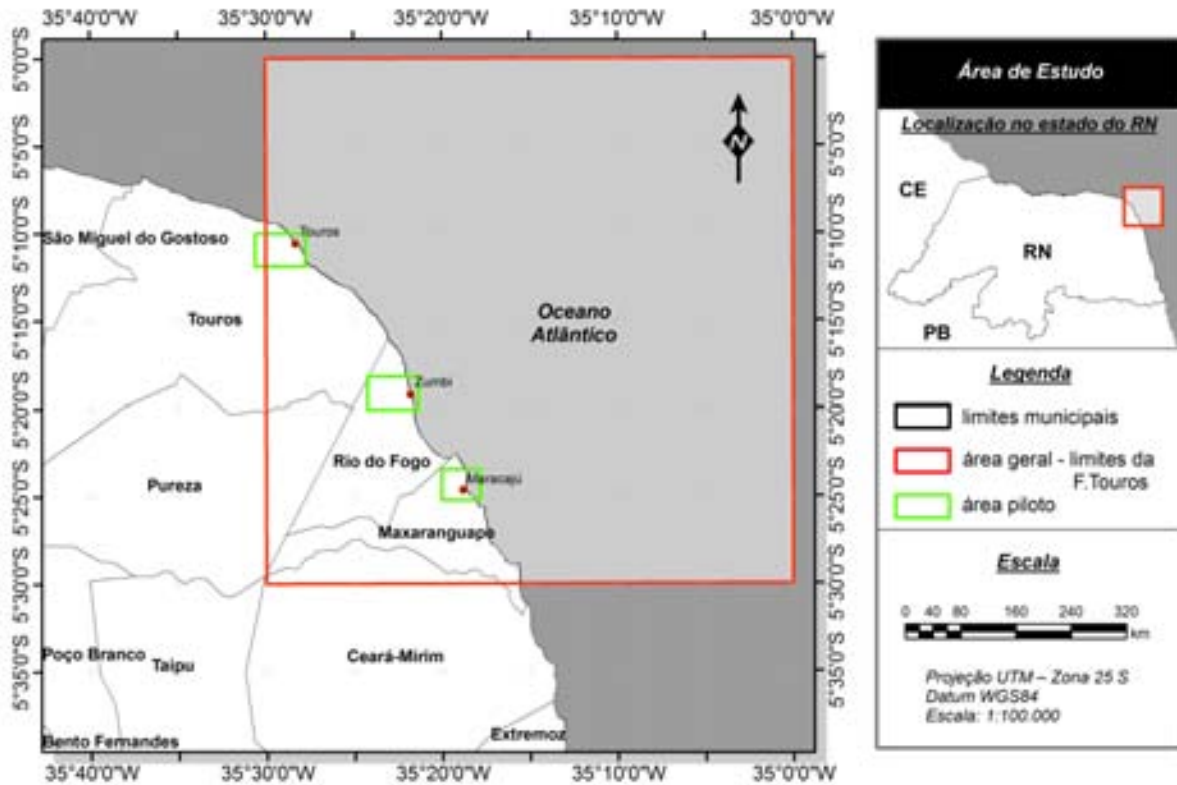
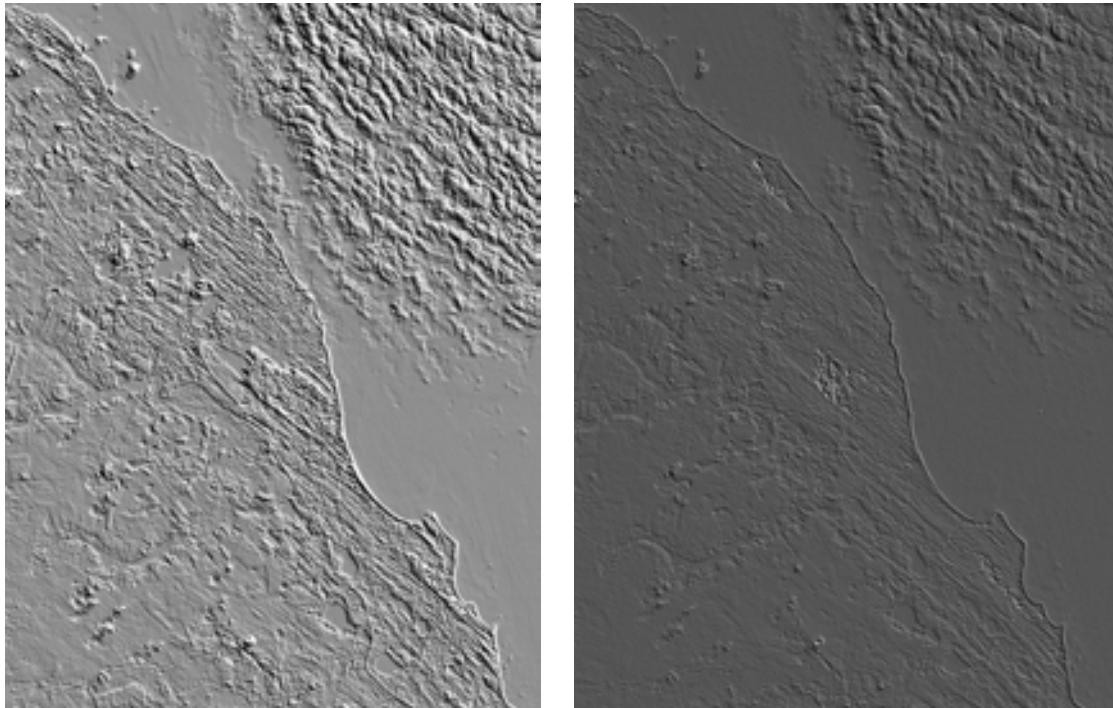


Figura 1. Área de estudo geral: limites da Folha Touros (linha vermelha).  
Municípios: Touros, Pureza, Rio do Fogo, Maxaranguape, Ceará-Mirim.  
Áreas piloto: adjacências das comunidades de Touros, Zumbi e Maracajaú (polígonos verdes).

*Figure 1. Study Area: limits of the FolhaTouros (line red).*

*Town: Touros, Pureza, Rio do Fogo, Maxaranguape, Ceará-Mirim.*

*Pilot Area: Around of Dunes Touros, Zumbi e Maracajaú (green polygons).*



PC1+ filtro KernelSunangle 3x3 (N-E)

PC6+ filtro KernelSunangle 3x3 (N-E)

Figura 2. Produto imagem PC1 e PC6 do Landsat7ETM+ (aplicativo ErMapper)

Figure 2. Image Product of PC1 and PC6 of the Landsat7ETM+ (ErMapper applicative)

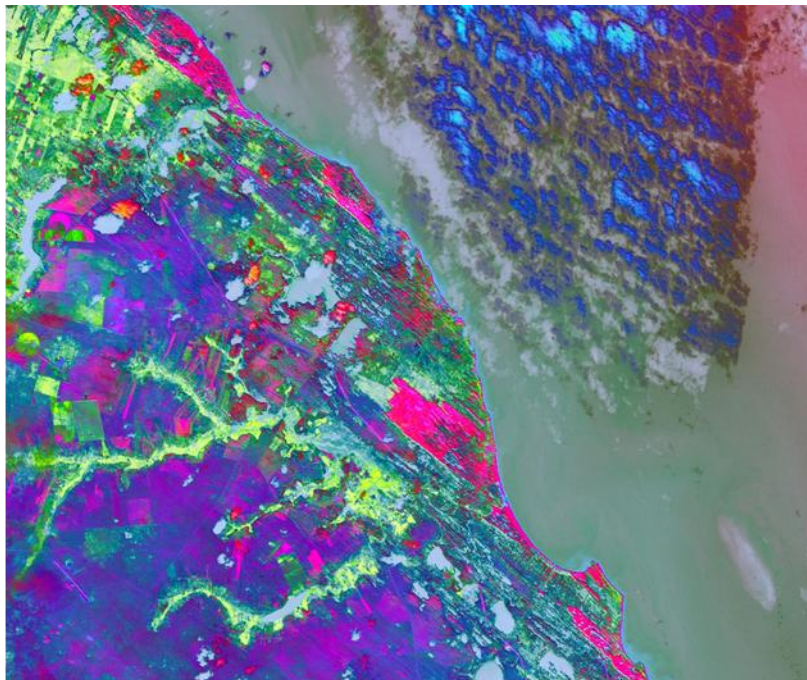


Figura 3. Composição colorida falsa cor R(PC5) G(PC3) B(PC4).

Figure 3. False color composing R(PC5) G(PC3) B(PC4).

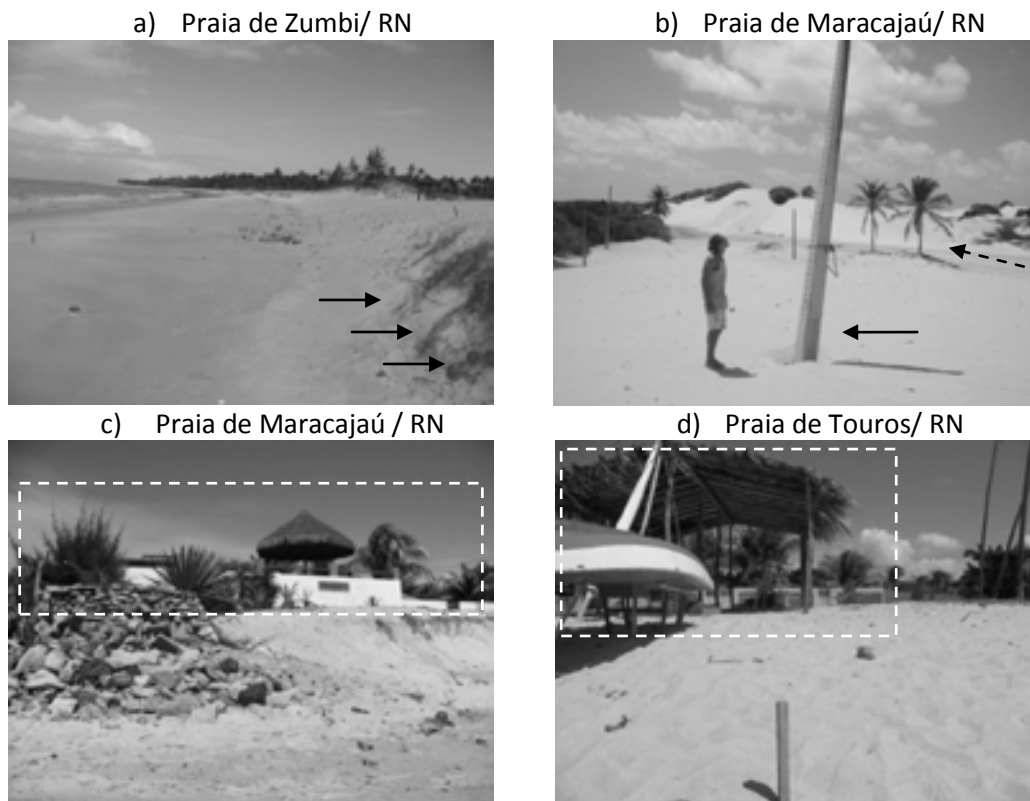


Figura 4. Figura 4 a, na praia de Zumbi (setas pretas), feição típica de uma duna frontal. Na praia de Maracajaú (Figura 4 b – setas pretas) das dunas móveis invadindo estradas e avançado sobre postes de iluminação. Ao sul de Maracajaú (Figura 4 c – retângulo tracejado), pousada sobre áreas de dunas frontais. Na praia de Touros (Figura 4 d – retângulo tracejado), ocupações tradicionais sobre as dunas frontais. Acervo do autor (2009 e 2010).

*Figure 4. Zumbi Beach (black arrows), a feature typical of frontal dune. On the beach Maracajaú (Figure 4 b - black arrows) mobile dunes advanced on light poles and streets. South of Maracajaú (Figure 4 c - dashed rectangle), hostel on the fore dune areas. On the beach of Touros (Figure 4 d - dashed rectangle), traditional occupations on the foredunes. Collection of the author (2009 and 2010).*

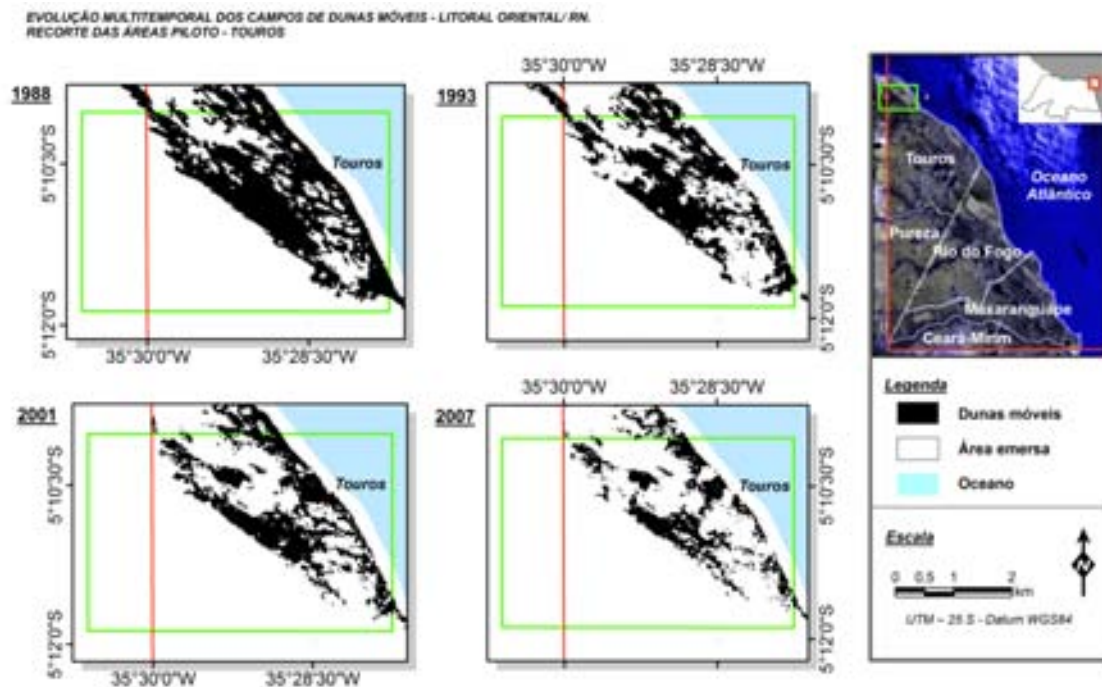


Figura 5. Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Na escala de 1:50.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Touros.

Figure 5. Multitemporal evolution between 1988 and 2007. Scale map 1:50.000. Red line: limits of FolhaTouros – Green lines: pilot area Touros.

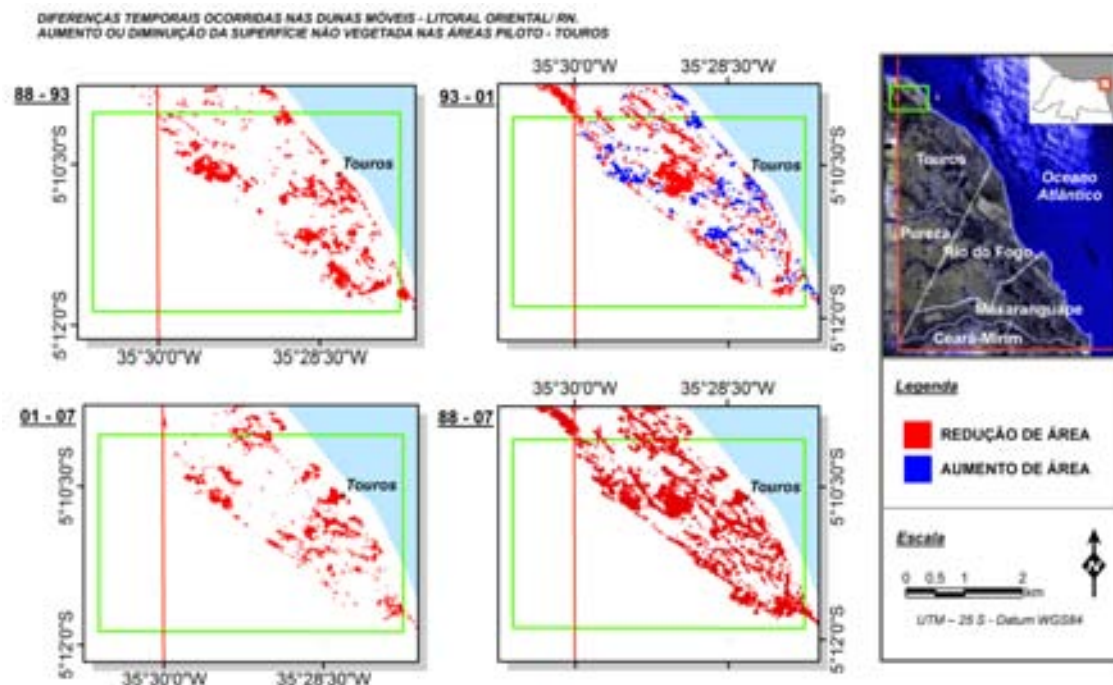


Figura 6. Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Na escala de 1:50.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Touros.

Figure 6. Multitemporal differences between 1988 and 2007. Scale map 1:50.000. Red line: limits of FolhaTouros – Green Polygons: pilot area Touros.

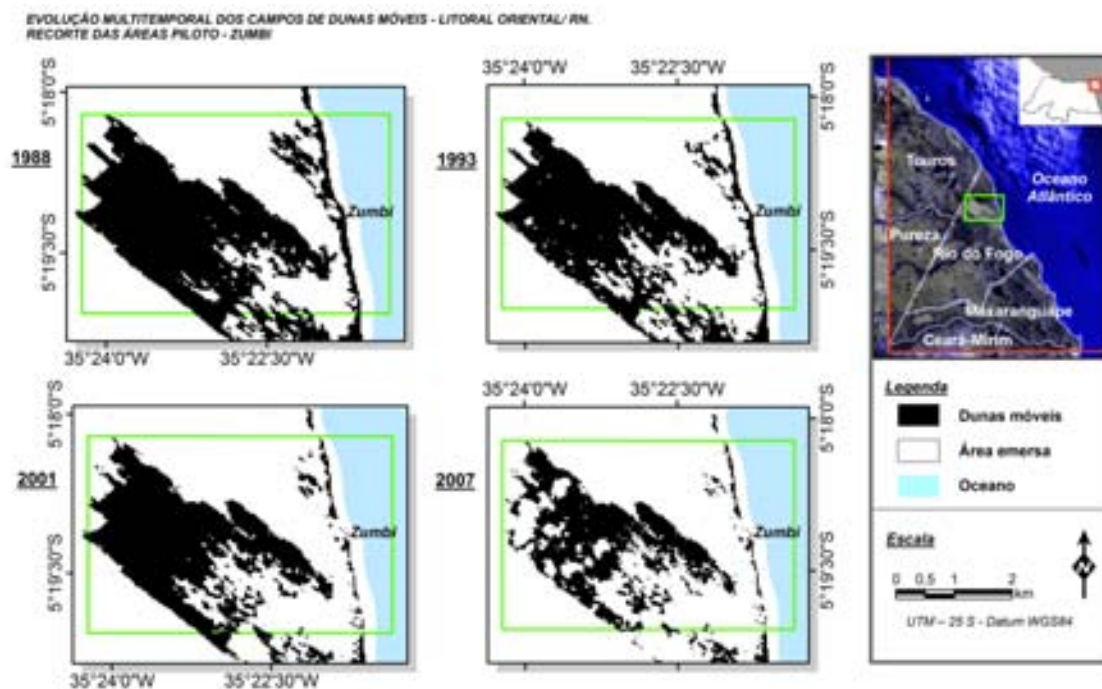


Figura 7. Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Na escala de 1:50.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Zumbi.

Figure 7. Multitemporal evolution between 1988 and 2007. Scale map 1:50.000. Red line: limits of FolhaTouros – Green lines: pilot area Zumbi.

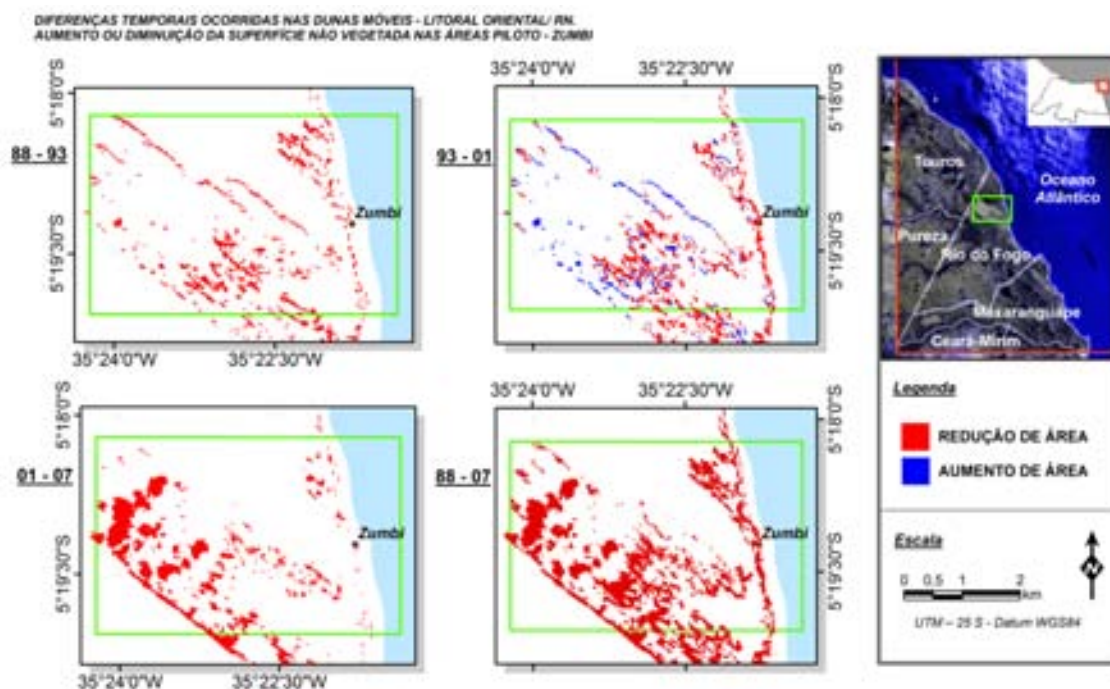


Figura 8. Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Na escala de 1:50.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Zumbi.

Figure 8. Multitemporal differences between 1988 and 2007. Scale map 1:50.000. Red line: limits of FolhaTouros – Green Polygons: pilot area Zumbi.

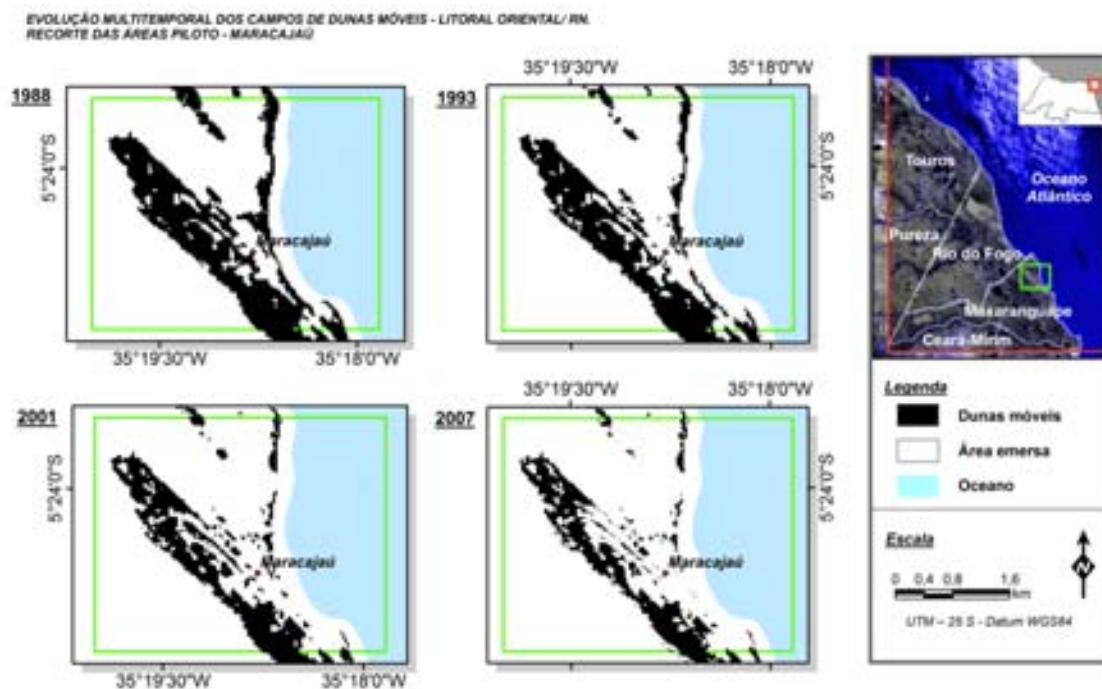


Figura 9. Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. Na escala de 1:50.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Maracajá.

Figure 9. Multitemporal evolution between 1988 and 2007. Scale map 1:50.000. Red line: limits of Folha Touros – Green lines: pilot area Maracajá.

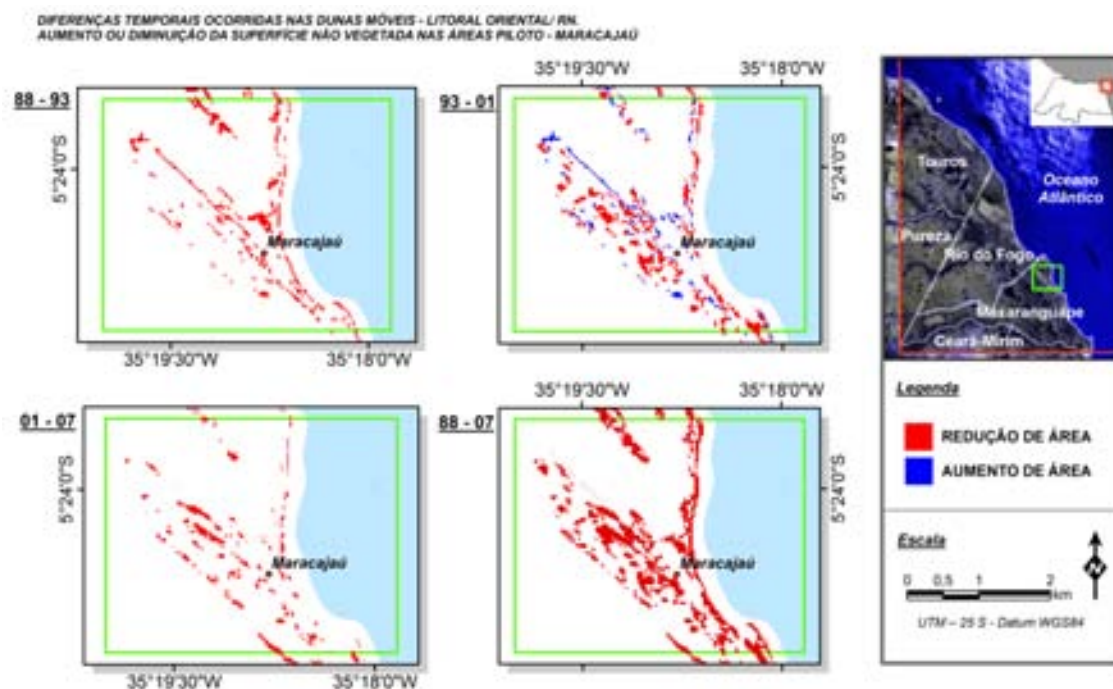


Figura 10. Diferenças multitemporais das dunas entre 1988 e 2007. Na escala de 1:50.000. Linha vermelha: limite da Folha Touros – Linhas verdes: área piloto Maracajá.

Figure 10. Multitemporal differences between 1988 and 2007. Scale map 1:50.000. Red line: limits of Folha Touros – Green Polygons: pilot area Maracajá.



Figura 11. Duna frontal (setas pretas) localizada na praia de Perobas, município de Touros. Foto de acervo pessoal - 2009.

*Figure 11. Foredunes (black arrows) localized on the Perobas Beach's, in towns of Touros. Personal file photo - 2009.*

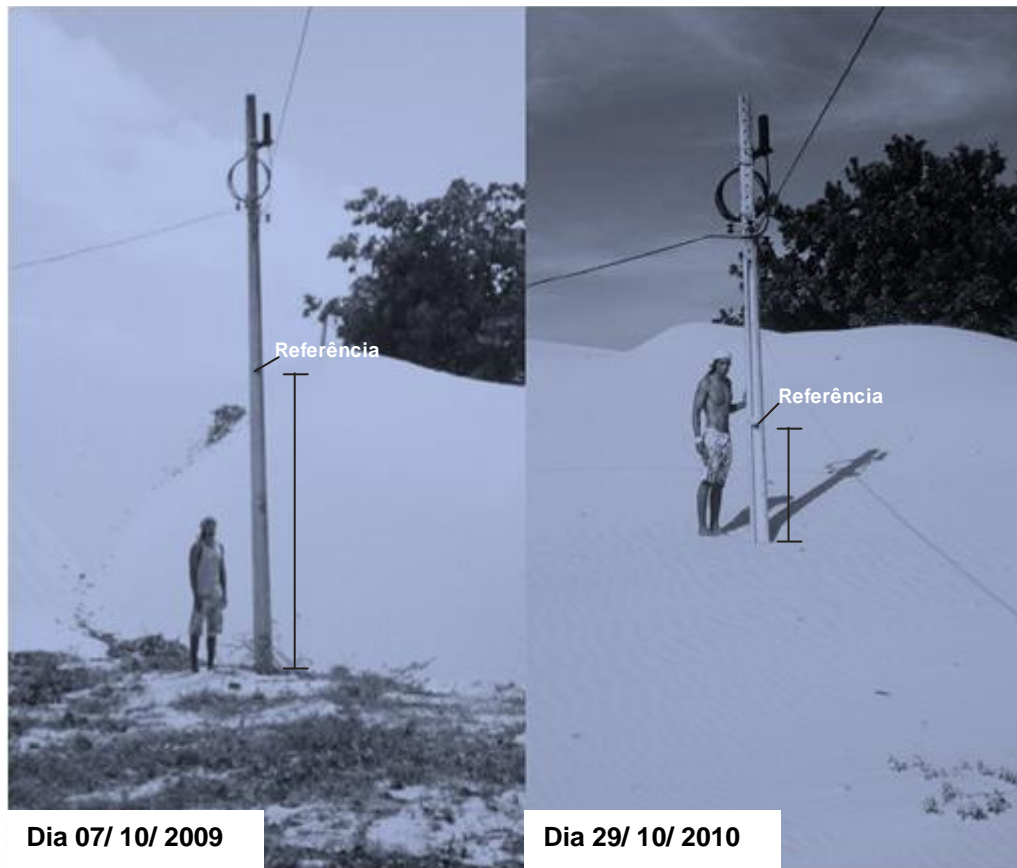


Figura 12. Duna móvel adjacente a praia de Maracajaú. Foto relativa a migração ativa da duna em função do deslocamento e altura do nível de sedimentos sobre um poste elétrico de rua (Fernandes e Amaral, 2010).

*Figure 12. Mobile Dune in Maracajaú Beach. Photo illustration of the active migration of the dune as a function of displacement and high level of sediment on an electrical pole street. (Fernandes e Amaral, 2010).*

**TABELAS:**

Tabela 1. Produtos de sensores remotos utilizados com os respectivos intervalos em anos. Referências espaciais: Coordenadas UTM – Zona 25 S - Datum WGS84. Órbita/ponto da imagem: 314/64

Table 2. Remote Sensing products in respective years. Spatial reference: UTM – Zone 25 S - Datum WGS84.

PLATAFORMA	LANDSAT 5	LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 5
SENSOR	TM	TM	ETM+	TM
ANO	1988	1993	2001	2007
DATA	05/06/1988	05/07/1993	04/08/2001	29/08/2007
DIFERENÇA ANO/ANO	0	5	8	6
DIFERENÇA TOTAL	Início - fim	1988	2007	19

Tabela 2. Área da superfície não vegetada nas áreas piloto em cada ano pesquisado. Diferença de área do ano inicial menos o ano seguinte.

Ano	Áreas piloto-km <sup>2</sup>			Área total-km <sup>2</sup>	Diferença	
	Maracajaú	Zumbi	Touros		anos	km <sup>2</sup>
1988	2,45680	7,453732	4,538996	25,51	88 - 93	6,00
1993	2,023649	6,460827	3,347597	19,51	93 - 01	2,55
2001	1,676927	5,904885	2,826799	16,96	01 - 07	4,76
2007	1,358209	4,344517	1,952738	12,20	88 - 07	13,31
Total	7,515585	24,163961	12,66613	74,19	Total	13,31



