

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS
LENÇÓIS MARANHENSES COM O USO DE
IMAGENS DE SATÉLITE PARA O
PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

THIAGO DINIZ ARAUJO

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Eliana Lima da Fonseca
Porto Alegre (RS), Outubro de 2015

Porto Alegre
Outubro de 2015

THIAGO DINIZ ARAUJO

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES COM O USO DE
IMAGENS DE SATÉLITE PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Lima da Fonseca.

Porto Alegre
Outubro de 2015

THIAGO DINIZ ARAUJO

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES COM O USO DE
IMAGENS DE SATÉLITE PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Lima da Fonseca.

Aprovada em 16 de outubro de 2015.

Profa. Dra. Eliana Lima da Fonseca – Orientadora

Prof. Dr. Cláudio Eduardo de Castro – Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Cláudio Wilson Mendes Júnior – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico aos meus pais,

Francisco Armando de Sousa Araujo

&

Maria de Nazaré Diniz Araujo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, pela oportunidade concedida de poder estudar e contribuir para com a sociedade, e por todas as felicidades alcançadas em minha vida, pois ele sempre foi e será a minha fortaleza em todos os dias.

A Congregação Católica dos Pobres Servos da Divina Providência (PSDP), pela bela acolhida desde que cheguei a Porto Alegre, me fazendo sentir em casa nas atividades da Igreja e como membro da família calabriana (São João Calábria - Fundador). Levarei para sempre o enriquecimento que tive com o carisma, os preceitos, as conversas, os sorrisos, que com certeza nos fazem pessoas melhores, colocando em prática o que aprendemos de bom. Muito Obrigado, vocês foram fundamentais nesta caminhada.

À Professora Dra. Eliana Lima da Fonseca, por aceitar me orientar e me receber na UFRGS para o mestrado. Obrigado pelas relevantes orientações no transcorrer do curso e na construção desta Dissertação, assim como nas jornadas de campo que fizemos. Foram aprendizados para toda a vida.

Aos meus queridos pais, Armando Araujo e Nazaré Diniz, por serem o alicerce da minha formação enquanto pessoa, por me ensinarem os valores mais importantes que devemos ter para sermos bons cidadãos e alcançarmos os objetivos. Obrigado pelo total apoio que sempre tive nas minhas atividades pessoais e profissionais, ainda mais longe de casa, amo vocês.

A minha companheira de todas as horas Marília Fernandes “Mama”, por me dar apoio não só amoroso, mas em todos os momentos de pós-graduando distante de casa, com incentivo para eu vim estudar e principalmente por me acompanhar na saga SLZ-POA, mesmo longe, estamos sempre juntos.

Aos meus Tios, Tias, primos, primas e toda a grande família, que de alguma forma sempre me ajudaram, desde a época do ensino básico. Serei sempre grato e lembrarei com carinho.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), por me aceitar como estudante do mestrado, me possibilitando um espaço físico propício para produções acadêmicas, em especial o “meu” laboratório de pesquisa em Estudos Agrícolas e Agrometeorológicos (LEAA).

Aos professores da pós-graduação, assim como os bolsistas e funcionários do CEPSRM, quero agradecer a todos que participaram direta e indiretamente para a realização das atividades da pós-graduação e da amizade adquirida.

À turma “extraordinária” do 3º trimestre de 2013, fomos poucos, mas juntos ingressamos nesta jornada e nos ajudamos mutuamente, principalmente por agregarmos nossos valores de formações acadêmicas distintas.

Aos “Sensoriosos” pelos problemas proporcionados e logo solucionados, além da amizade adquirida nesses anos.

A todos os amigos da pós em Sensoriamento Remoto, desde os que compartilharam as disciplinas, quanto os que tiveram mais próximos, ajudando na funcionalidade dos programas e trocas de idéias bem relevantes, essas amizades ficarão para sempre.

Aos amigos do Maranhão, pelas trocas de idéias sobre a pesquisa e conversas sobre o dia a dia do nosso estado, me situando sobre as atividades acadêmicas e das rotinas maranhenses.

Ao professor Dr. Cláudio Castro da pós-graduação em Geografia (UEMA), pelos incentivos para a realização do mestrado, como também por ceder os aparelhos utilizados durante a etapa de campo.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), pelo importante apoio na logística da realização da pesquisa de campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido durante o mestrado.

“Para dar, antes é preciso ter, para ensinar é preciso praticar. Por isso, sejam reservatórios e não só canais, que nada guardam para si e que acabam se esgotando”.

(SÃO JOÃO CALÁBRIA)

RESUMO

A evolução do sistema Terrestre sempre foi constante, apresentando períodos com instabilidade de grande, média ou pequena magnitude. A zona costeira é um ambiente que está na interface entre o continente e o oceano, na qual as dunas dessa região apresentam intenso dinamismo, o que torna imprescindível o seu constante monitoramento. A técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança (RCEN) possibilita a análise multitemporal de uma paisagem através da avaliação dos padrões de resposta espectral de toda a imagem, sem a necessidade de correção dos efeitos atmosféricos. Os objetivos desta dissertação são analisar a dinâmica espaço-temporal do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM) no período de 1984 a 2014, a partir da análise de imagens de satélite e avaliar a técnica RCEN para a identificação e monitoramento das alterações do parque. A área de estudo está localizada na região nordeste do Brasil, litoral oriental do estado do Maranhão, e tornou-se uma área de proteção ambiental por meio do Decreto Federal nº 86.060, de 02 de junho de 1981. Para as análises foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 - Sensor TM e Landsat 8 - Sensor OLI para os períodos estudados. A borda limite do parque na parte interior do continente foi vetorizada a partir das imagens dos anos de 1984 e de 2014, para se avaliar o avanço e a retração das dunas. Foram elaborados mapas com o deslocamento dunário em um período de 30 anos sendo identificado um maior avanço em relação à retração em toda a área. A variação do comportamento espectral de pontos de monitoramento também foi avaliada, para identificar o período da ocorrência da mudança. A RCEN foi testada na borda interna limítrofe do parque, na qual foi determinado o ângulo de rotação dos eixos radiométricos, que é o principal parâmetro para a obtenção da imagem de detecção de mudanças. Foi possível a identificação das áreas de não mudança (90,67%) e a variação das dunas (5, 20%), vegetação (3,86%) e água (0,27%) em relação à área total. Identificou-se que a expansão das dunas, do litoral em direção ao interior do continente, ocorre no sentido nordeste - sudoeste, seguindo a circulação dos ventos alísios e que a vegetação ocupou os espaçamentos deixados pelas dunas ou pela água das lagoas. A RCEN foi eficaz ao traduzir as alterações na área analisada. Considerando o tipo de mudanças identificadas, entende-se que monitorar o deslocamento dunário no PNLM é relevante para o planejamento do parque, pois este representa um importante ecossistema da região, bem como é um considerável polo turístico para o Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: detecção de mudanças; monitoramento ambiental; migração dunária.

ABSTRACT

The Earth system evolution has always been constant, presenting large, medium or small magnitude instability. The coastal zone is an environment that occurs at the interface between the continent and the ocean, where the dunes have an intense dynamic, requiring their constant monitoring. The radiometric rotation controlled by no change axis (RCEN) technique allow multi-temporal analysis of a landscape by evaluating the spectral response patterns of the entire image, without the need for correction of atmospheric effects. The aim of this study was to analyze the spatio-temporal dynamics of the Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM) during 1984 to 2014, from satellite imagery analysis and evaluate the RCEN technique for the identification and monitoring of these changes. The study area is located in northeastern Brazil, eastern coast of the state of Maranhão, and has become an environmental protection area through the Federal Decree No. 86060 of June 2, 1981. For these analyses were used satellite images from the Landsat 5-TM and Landsat 8-OLI sensors. The park edge boundary in the inner part of the continent was vectored from the images of the years 1984 and 2014, to assess the advancement and retraction of the dunes. Were made maps with the dunes changes over a period of 30 years and were identified a bigger advancement in relation of the shrinkage among throughout the area. The spectral pattern variation in some monitoring points was also evaluated to identify the timing of the change occurrence. The RCEN was tested in the adjacent inner border of the park in where the angle of rotation of radiometric axis was determined, considering that this angle is the main parameter for obtaining the change detection image. Were identified areas without changes (90.67%) and the variation of the dunes (5, 20%), vegetation (3.86%) and water (0.27%) in relation to the total area. It was identified that the expansion of the dunes, occurs from the coast line towards the interior of the continent, with the northeast – southwest direction, following the circulation of trade winds, while the vegetation occupied the gaps left by the dunes or water ponds. The RCEN was effective in identify the changes in the study area. Considering those changes detected, monitoring the dunes movement in PNLM is relevant to the park planning, once it represents an important ecosystem of the region and is a great tourist hub for Brazil.

KEYWORDS: change detection; environmental monitoring; migration of the dunes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Comportamento espectral de alvos	19
Figura 2.1 - Equação de ilustração da RCEN.....	27
Figura 3.1 - Diagrama analítico das medidas para obter os parâmetros de rotação.....	28
Figura 4.1 - Imagens LANDSAT/TM de 1999 (em cima, à esquerda) e 2004 (embaixo, à esquerda) e correspondente mapa (à direita) de detecção de mudanças a partir da RCEN29	
Figura 5.1 - Mapas de mudanças no semiárido a partir da RCEN	30
Figura 6.1 - Mapa de localização do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses	34
Figura 7.1 - Acesso realizado da cidade de Barreirinhas ao PNLM	35
Figura 8.1 - Lagoas entre as dunas.....	36
Figura 9.1 - Tipos de dunas	38
Figura 10.1 - Influência do ZCIT no PNLM.....	39
Figura 11.1 - Diagrama de rosa com intensidade dos ventos em janeiro (período chuvoso) e setembro (período de estiagem) - Estação São Luís, 2007	41
Figura 12.1 - Dunas avançando em direção a corpos hídricos no PNLM.....	43
Figura 13.1 - Vegetação circunvizinha ao campo de dunas do PNLM	43
Figura 14.1 - Cobertura vegetal fixando as dunas na área limítrofe interna do PNLM .	44
Figura 15.1 - Estabelecimento para atividades de subsistência de uma família residente na área do PNLM.....	47
Figura 16.1 - Gaiotas sobrevoando lagoa interdunar no PNLM.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Características dos satélites Landsat	31
Tabela 2.1 - Características do sensor TM.....	32
Tabela 3.1 - Características dos sensores OLI e TIRS	33
Tabela 4.1 - Períodos de ocorrência de El Niño e La Niña e sua intensidade no período analisado.....	40
Tabela 5.1 - População dos municípios da região do PNLM.....	46
Tabela 6.1 - IDHM das cidades que compõem o PNLM.....	46

LISTA DE SIGLAS

ACP – Análise por Componentes Principais

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DN – Número Digital

ERTS – Earth Resources Technology Satellite

ETM – Enhanced Thematic Mapper Plus

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

MSS – Multispectral Scanner System

NASA – National Aeronautics and Space Administration

OLI – Operational Land Imager

PNLM – Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RCEN – Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não Mudança

RMS – Root Mean Square

TIRS – Thermal Infrared Sensor

TM – Thematic Mapper

UA – Unidade Astronômica

UC – Unidade de Conservação

USGS – United States Geological Survey

UTM – Universal Transverse Mercator

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Objetivo Geral	16
1.1.2. Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 2	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Ecossistema dunário	17
2.2. Sensoriamento Remoto	19
2.2.1. Comportamento espectral de alvos.....	19
2.2.2. Cálculo da reflectância	21
2.2.2.1. Reflectância aparente e de superfície.....	22
2.2.3. Análise multitemporal de imagens.....	23
2.2.4. Técnicas de detecção de mudanças	24
2.2.4.1. Técnica de Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não mudança (RCEN)	26
2.2.5. Satélites Landsat.....	31
2.2.5.1. Landsat 5	32
2.2.5.2. Landsat 8	33
CAPÍTULO 3	34
ÁREA DE ESTUDO	34
3.1. Feições Geomorfológicas	35
3.3.1. Tipos de dunas.....	37
3.2. Clima, Vegetação e Hidrografia	39
3.3. Descrição Sócio Econômica	45

CAPÍTULO 4	49
ARTIGOS A SEREM SUBMETIDOS A PERIÓDICOS	49
4.1. ANÁLISE MULTITEMPORAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES ENTRE 1984 A 2014 UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL	50
4.2. APLICAÇÃO DA ROTAÇÃO RADIOMÉTRICA CONTROLADA POR EIXO DE NÃO MUDANÇA NOS LENÇÓIS MARANHENSES	75
CAPÍTULO 5	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A	104
APÊNDICE B	105

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A evolução dos ambientes naturais da Terra sempre foi constante, causando períodos com instabilidades de grande, média ou pequena magnitude. Essas dinâmicas na paisagem compelem aos seres vivos terem que se adaptar às mudanças, sendo assim necessário estudar e monitorar tais transformações.

O homem desenvolveu ferramentas para auxiliar na análise da dinâmica da superfície terrestre, utilizando sistemas de alta capacidade para tratamento e análise de informações multitemáticas, representadas pelas técnicas de sensoriamento remoto. Os produtos oriundos dos sensores remotos são importantes para a elaboração de inventários, mapeamentos e monitoramentos dos recursos naturais. Estes são considerados precisos e confiáveis, tendo ampla aceitabilidade na sociedade devido às informações serem obtidas em curto espaço de tempo e a custo acessível.

As relações entre os elementos de um ambiente geram arranjos espaciais e, por conseguinte, produzem uma paisagem. Uma das formas de identificar esses elementos é através do seu comportamento espectral, que está associada às propriedades físico-química determinante na aparência da superfície da Terra. A reflectância espectral dos objetos é apresentada por intermédio das imagens orbitais como a resposta da radiação solar incidente sobre eles. Outra forma de identificação dos elementos de uma paisagem é através das técnicas de detecção de mudanças. Tendo como exemplo a de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança, que permite o reconhecimento de diferenças no estado momentâneo do objeto ou fenômeno observado ao longo do tempo.

A rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança é uma técnica caracterizada pela simplicidade dos seus métodos, em que não se faz necessário realizarem complexos procedimentos para correção atmosférica e calibragem dos dados. Esta técnica envolve a capacidade de quantificar a mudança ambiental utilizando dados radiométricos a partir de imagens multitemporais.

A existência de imagens de sensores remotos de diferentes épocas converte a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva desses sistemas. Os ambientes costeiros estão na interface entre o continente e o oceano, se caracterizando como local de forte dinamismo, coordenado

pelas variações energéticas dos processos naturais de diferentes escalas espaciais e temporais. Dinâmica que proporciona as dunas sofrerem com ações constantes das forças eólicas e conseqüentemente modificações durante sua evolução, que vão desde as alterações no relevo quanto à distribuição da drenagem de corpos hídricos.

A evolução temporal dos campos de dunas é uma relevante maneira para se compreender as mudanças ocorridas em um ambiente. A conservação e preservação destes lugares passam diretamente pelo entendimento de como esses sensíveis ecossistemas naturais, se desenvolvem de acordo com o surgimento ou dissipação de feições, graus de arredondamento, esfericidade dos grãos de areia e suas taxas de migração, que interferem no espaçamento entre as dunas.

Dentre os sistemas de depósitos eólicos da zona costeira brasileira, o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses se destaca em termos de área e volume de material, apresentando um dinâmico e representativo sistema de campos de dunas. Os Lençóis Maranhenses possuem um contingente considerável de comunidades que sobrevivem do Turismo e das produções primárias de subsistência, por isso há a necessidade de se estudar e monitorar este ambiente. Os resultados deste trabalho contribuirão na visualização do processo de deslocamento das dunas, que junto à questão cultural e econômica local de sustentabilidade e turismo são imprescindíveis para o planejamento ambiental.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a dinâmica espaço-temporal do sistema dunário no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, estado do Maranhão.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Mapear as áreas de dunas do parque.
- Analisar os mapas de expansão e retração do sistema dunário a partir de imagens de satélite, abrangendo registros referentes a partir de 1984 a 2014.
- Avaliar a técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança para a identificação e monitoramento das alterações no período de 1992 a 2008.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ecossistema dunário

Os ecossistemas dunários encontram-se presentes sobre os mais diversos domínios morfoclimáticos, desde regiões de clima semiárido até as zonas de clima úmido e temperado (GOLDSMITH, 1985). É mais propício encontrá-los em regiões oceânicas, devido à ocorrência dos ventos necessários com as frentes amplas de mar aberto, disponibilidade de materiais de praias com gradiente suave e grande acúmulo de areia, e pelos cordões arenosos existentes, adequados ao acúmulo (BARROSO, 2010).

A origem e evolução dos depósitos eólicos costeiros, conforme Castro (2001) depende dos processos básicos como erosão, transporte e deposição, pelos quais o vento, soprando sobre a praia no período de baixa-mar, consegue remover a areia de sua superfície transportando-a em direção ao continente, formando assim as dunas. Geralmente o processo de origem dunária ocorre quando o vento encontra um obstáculo ao fluxo, proporcionando a ele contorná-lo e ultrapassá-lo, reduzindo a velocidade e favorecendo a deposição e formação de montículos arenosos que também alteram o fluxo. Os montículos se ligam e constituem o início do depósito elevado (BARROSO, 2010).

Para Ottman (1965), as dunas litorâneas são acumulações de areia marinhas depositadas pelos ventos e que recobrem certa parte do litoral, apresentando-se também sob formas de cordões de areia, mais ou menos paralelos entre si e alongados no sentido do litoral, geralmente, perpendicular aos ventos dominantes. Já em conformidade com a resolução CONAMA nº 303/2002, as dunas são definidas como unidade geomorfológica de constituição predominantemente arenosa, com aparência de cômodo ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação.

Os campos de dunas costeiras podem ser considerados acumulações temporárias de materiais em transporte ou estagnados dentro de uma região que já teve ou possui as condições necessárias para a evolução (GASTÃO, 2010). Tais acumulações devem-se, em grande parte, as variações climáticas ocorridas durante o Quaternário Superior, cerca dos últimos 7.000 anos, trazendo conseqüências na sedimentação costeira (SUGUIO, 1999). Estas conseqüências foram desencadeadas por intensa transgressão e regressão marinha, influenciando na disposição de material para transporte. Assim como nas oscilações no

regime dos ventos, bem como diferenciações nos índices de umidade e aridez. Todos estes fatores contribuíram para a modelagem do presente cenário morfológico da zona costeira (GASTÃO, 2010).

As dunas costeiras se formam em locais onde existe grande suprimento de sedimentos arenosos, ventos constantes capazes de selecionar e mover as areias e um local apropriado onde estas podem se acumular (SILVA et al., 2004). As expressivas correntes de vento implicam num efetivo transporte de sedimentos, conseqüentemente as dunas não vegetadas apresentam grande mobilidade, tornando o ecossistema dunário altamente dinâmico (LUKE, 2008). Estas condições são frequentemente encontradas em praias do tipo dissipativo a intermediário, de gradiente suave (MUEHE, 1994).

Os campos de dunas costeiras do Brasil são encontrados ao longo de todo litoral, dos Lençóis Maranhenses ao extremo sul do Rio Grande do Norte, nas proximidades da desembocadura do rio São Francisco, na região de Cabo Frio e entre a Ilha de Santa Catarina e o extremo sul do Rio Grande do Sul (GIANNINI et al., 2005). Nesta perspectiva, os principais campos de dunas são conforme Santos (2008) as que ocorrem no litoral do Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, assim como no litoral do Maranhão, Piauí e Ceará. Nestes últimos, tais condições são favorecidas pela presença de ventos constantes, bem como pela maior amplitude de maré existente, principalmente no litoral maranhense.

De acordo com Dominguez e Martin (2007), a compreensão da dinâmica e dos controles ambientais responsáveis pelo aparecimento e evolução das dunas presentes na região costeira do nordeste do Brasil é fundamental para o manejo ambiental das mesmas. Estas áreas são extremamente sensíveis devido a sua propensão para mudança mesmo quando submetidas a pequenos estresses ambientais. Pequenos distúrbios podem resultar em danos e mudanças progressivas em longo prazo (DOMINGUEZ; MARTIN, 2007).

Para uma eficaz forma de análise e manejo dos ecossistemas dunários, um dos mais dinâmicos do planeta, é necessário se compreender como este funciona e se desenvolve. Como afirmam Araujo, Sousa e Feitosa (2011), na qual é necessário ordenar as ações humanas e planejar a construção de equipamentos e facilidades, de forma adequada, evitando efeitos negativos nos recursos naturais.

2.2. Sensoriamento Remoto

2.2.1. Comportamento espectral de alvos

A radiação solar que incide sobre a superfície da Terra interage distintamente com os mais variados alvos, como afirmam Steffen, Moraes e Gama (1996), em que o comportamento espectral de objetos terrestres, naturais ou artificiais, está fortemente associado às suas propriedades de natureza físico-química e é determinante na aparência que estes objetos apresentam nas imagens dos sensores remotos. A radiação que chega aos satélites define a resposta espectral dos alvos, sendo influenciado por fatores como a relação geométrica entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor, os efeitos atmosféricos e as propriedades físicas dos materiais estudados. Aliado a estes fatores, as superfícies adjacentes, contribuem na medida do fator de reflectância do alvo de interesse (JENSEN, 2009).

O comportamento espectral de uma dada superfície é extremamente complexo, sendo afetada pela diversidade de materiais presentes e suas concentrações, pelo tamanho de seus constituintes, além da geometria de visada. Todos os atributos da superfície são importantes, porém, em diferentes graus (FIORIO; DEMATTÊ; NANNI, 2001). Sendo assim, é relevante observar o comportamento de determinados elementos da natureza, a partir da reflectância da vegetação, do solo e da água (Figura 1.1).

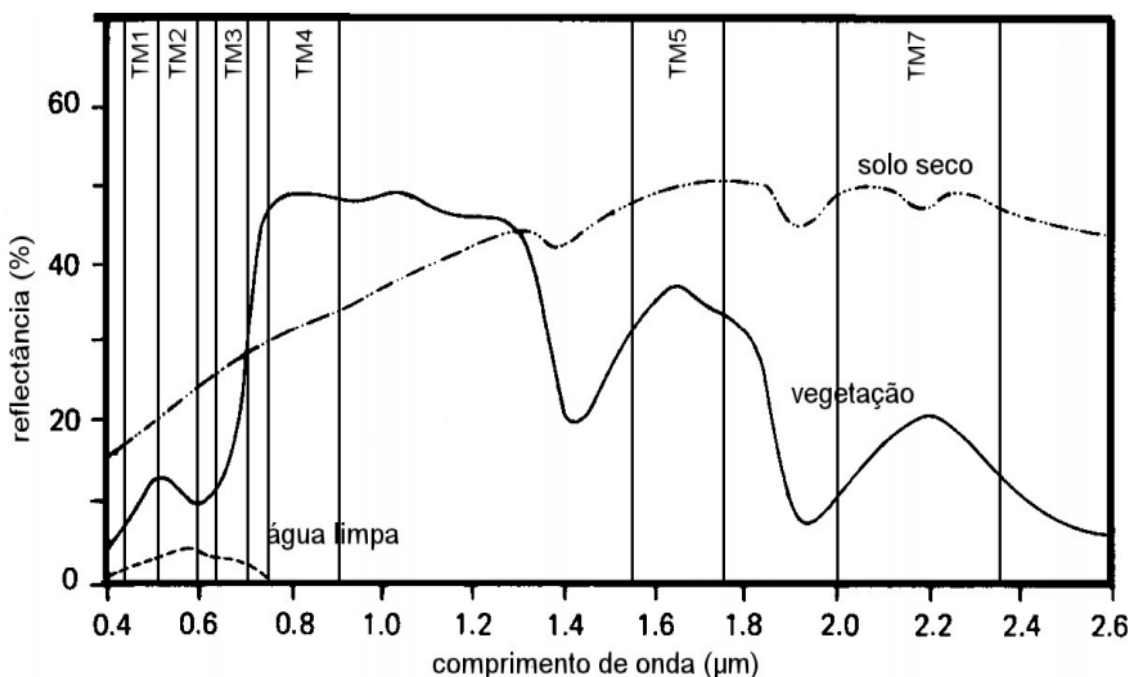


Figura 1.1- Comportamento espectral de alvos.
Fonte: Adaptado de Lillesand e Kiefer (1987).

A curva de reflectância da vegetação é decomposta em três regiões espectrais, em função dos fatores que condicionam seu comportamento. Inicialmente, as principais bandas de absorção pelos pigmentos clorofila a e b, e carotenóides ocorrem em 0,43 – 0,45 μm e em 0,65 – 0,66 μm na região de absorção da luz visível. Em seguida, de 0,75 μm a 1,35 μm , na região do infravermelho próximo, que possui reflectância elevada e baixa absorvância afetada consideravelmente pelas estruturas internas da folha. E por fim, entre 1,35 μm e 2,5 μm , na qual a reflectância é influenciada pela estrutura da célula, porém fortemente afetada pela concentração de água no tecido (REEVES; ANSON; LANDEN, 1975). No espectro correspondente ao Infravermelho Próximo, as arquiteturas dos dosséis, as mais variadas formas e tamanhos dos vegetais podem informar consideravelmente sobre o seu albedo e, por conseguinte sua fitosionomia, definindo sua reflectância (PACHECO, 2009). Devido a esta característica, as vegetações rasteiras apresentam uma resposta espectral com valores distintos.

Na vegetação campestre com predominância das espécies rasteiras, o comportamento espectral é sazonal, em que periodicamente as partes mais aéreas ficam secas e apresentam uma resposta de Vegetação Não Fotossinteticamente Ativa. A partir do processo de senescência ou stress da folha, ocorre a redução no teor de clorofilas e conseqüentemente da reflectância, ficando com valores em torno de 0,25 a 0,30. Essas mudanças ocorrem devido à redução das feições de absorção da água e estruturais que ocorrem na folha quando esta perde umidade (CARVALHO JÚNIOR et al., 2008).

Uma das características do comportamento espectral do solo é segundo Jensen (2009), o aumento da reflectância com o aumento do comprimento de onda, especialmente no visível e no infravermelho próximo. Numerosas propriedades do solo influenciam na reflectância e emissão da energia eletromagnética, entre eles podemos citar a presença de minerais, tamanho de partícula, textura do solo, matéria orgânica e óxido de ferro, entre outros (REEVES; ANSON; LANDEN, 1975).

Os valores de reflectância de solos arenosos variam normalmente em torno de 0,30 a 0,40 na região do infravermelho próximo (LILLESAND; KIEFER, 1987). No entanto, os mais arenosos tendem a ter maior intensidade de reflectância, devido sua constituição mineralógica, principalmente aqueles ricos em quartzo e com baixos teores de ferro (RESENDE et al., 2005). Aqueles praticamente sem óxidos de ferro apresentem os valores mais elevados de reflectância, variando entre 0,40 a 0,50 no comprimento de onda referente à banda do infravermelho próximo (MADEIRA NETTO, 1993).

A presença de água afeta diretamente o comportamento do solo, pois de acordo com Jensen (2009), à medida que se umedece um solo ou que há aumento de matéria orgânica ou de óxido de ferro, sua refletância diminui o que implica um abaixamento da curva de resposta espectral. A refletância da água diminui com o aumento dos comprimentos de onda, em que as maiores refletâncias distribuem-se na região do visível, mais especificamente, nos comprimentos de onda do azul e do verde (de 0,4 a 0,6 μm respectivamente), decrescendo gradualmente na direção do infravermelho (a partir de 0,75 μm), limitando-se os estudos de qualidade da água ao espectro do visível (ROBERT; KIRMAN; LESACK, 1995).

A água pura tem a característica de absorver e/ou espalhar, seletivamente, a radiação incidente ou a luz solar descendente na coluna d'água, considerando que a luz incidente é afetada quando a coluna d'água não é pura, contendo materiais orgânicos e inorgânicos (JENSEN, 2009). Por ter uma baixa refletância, a água pode ser confundida com outros elementos da natureza, como é afirmado por Polidorio et al. (2006), na qual as regiões afetadas por sombras têm um comportamento espectral muito próximo daquele apresentado por corpos d'água, dificultando a discriminação entre esses dois elementos.

2.2.2. Cálculo da refletância

Para Meneses (2012), a refletância consiste na razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (irradiância), medida no mesmo instante de tempo. Os sensores detectam a radiância, convertendo essa grandeza em número digital. Para o cálculo da refletância é necessário inicialmente calcular a radiância, a partir da relação linear entre o número digital e essa grandeza, considerando os parâmetros de calibração do sensor. A refletância (ρ) é calculada conforme Allen, Tasumi e Trezza (2002), a partir da Equação 1.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (1)$$

Em que:

- $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda;
- $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$);
- Z é o ângulo zenital solar;
- dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

Conforme Iqbal (1983), o cálculo da dr é estabelecido em unidade astronômica (UA). Ela é apresentada na Equação 2.

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DJ2\pi}{365}\right) \quad (2)$$

Em que:

- DJ representa um dia Juliano do ano.

O ângulo zenital foi obtido conforme a Equação 3.

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (3)$$

Em que:

- E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho de cada imagem.

2.2.2.1 Reflectância aparente e de superfície

A refletividade da superfície terrestre, quando extraídas as informações dos satélites, pode ser apresentada a partir da reflectância aparente e da reflectância de superfície (SLATER, 1980).

Para a obtenção da reflectância aparente não é necessário realizar as correções atmosféricas, resultando apenas da conversão dos números digitais de uma imagem em valores de reflectância (SLATER, 1980). Já para a obtenção da reflectância de superfície é imprescindível aplicar as devidas correções atmosféricas, para se diminuir a contribuição da atmosfera em cada pixel, através da modelagem da interação da radiação eletromagnética com os gases atmosféricos radiativamente ativos (SLATER, 1980).

Aplicada em estudos com ecossistemas de dunas, a reflectância de superfície apresenta grande eficiência para o monitoramento dos deslocamentos das areias, utilizando-se os comprimentos de onda do visível e principalmente do infravermelho próximo, pois é a que menos é afetada pelas distorções causadas pela atmosfera (LEVIN; BEN-DOR; KARNIELI, 2004).

2.2.3. Análise multitemporal de imagens

A análise multitemporal é uma importante ferramenta para o estudo da evolução ambiental de uma área, pois estabelece comparações de uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos, auxiliando assim, o monitoramento e/ou diagnóstico dessas regiões (RICHARDS, 1993; GRIGIO, 2003). Nestas análises é importante a utilização de ferramentas combinadas com técnicas adequadas, para se ter uma boa correlação das bandas de imagens multitemporais de regiões que sofrem modificações substanciais na paisagem (RICHARDS, 1993).

Com a perspectiva de cada vez obter maior controle ambiental e auxílio na redução dos impactos negativos ao meio, Aragão e Almeida (2009) afirmam que o uso do sensoriamento remoto com base em imagens multitemporais de satélite é um dos meios mais eficientes para acelerar os trabalhos e reduzir custos dos mapeamentos na detecção de mudanças ocorridas no meio ambiente. Corroborando, Florenzano (2008) afirma que é relevante associar ao mapeamento por meio de imagens orbitais, a redução de custo para sua produção, assim como o somatório das técnicas de processamento digital com esforço de campo, acelerando a detecção de mudanças ambientais e geológicas (FLORENZANO, 2008).

Em estudos com a geomorfologia costeira, a existência de imagens de sensores remotos de diferentes épocas proporciona estender informações geográficas pontuais de uma área para um contexto mais amplo, possibilitando o entendimento da história evolutiva desses sistemas de forma rápida e eficaz (TREBOSSON et al., 2005).

O mapeamento do deslocamento dunário 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, com a escala definida, além da quantificação das alterações encontradas (FLORENZANO, 2008).

Com base na análise de imagens de satélite, Fernandes e Amaral (2013), afirmam que o estudo da evolução temporal dos campos de dunas surge como mais uma ferramenta para discernir as modificações impostas ao meio ambiente. A conservação e preservação destes lugares passam diretamente pelo entendimento de como esses ecossistemas naturais tão sensíveis, evoluem ao longo de certo intervalo temporal e espacial (FERNANDES; AMARAL, 2013).

2.2.4. Técnicas de detecção de mudanças

As técnicas de detecção de mudança baseiam-se no reconhecimento das alterações dos padrões característicos de determinados alvos na superfície terrestre, num espaço de tempo (LU et al., 2004; SANTOS; MALDONADO; GRAÇA, 2004). Essas técnicas possibilitam através da caracterização da superfície, uma melhor compreensão das interações entre os fenômenos naturais e as atividades humanas, com a perspectiva de melhor gerir e utilizar os recursos (LU et al., 2004). Para Maldonado e Santos (2005), tem se desenvolvido uma variedade de procedimentos para se detectar as mudanças. Para constatá-las, aplica-se um conjunto de dados multitemporais para analisar quantitativamente os seus efeitos (LU et al., 2004).

A disponibilidade de dados regulares obtidos por meio dos satélites de observação da Terra, fez com que as técnicas de detecção de mudança ganhassem relevantes aplicabilidades no sensoriamento remoto (MALONADO; SANTOS, 2005). Para Green, Kempka e Lackey (1994), elas variam conforme os objetivos a serem alcançados, sendo categorizadas em: técnicas para tornar possível a detecção de transformações, técnicas para medir as mudanças e para atualização temática e técnica espacial das mudanças.

Para o monitoramento ambiental alguns fatores são intrinsecamente relevantes, como a origem, a intensidade, a direção e a extensão das transformações de uso e cobertura da terra (MACLEOD; CONGALTON, 1998). Dessa maneira, várias técnicas de detecção de mudança ganharam destaque, como a razão de imagens (SINGH, 1989), a diferenciação de imagens (MÁS, 1998), análise de vetor de mudanças (LORENA; SANTOS; SHIMABUKURO, 2004), a comparação pós-classificação (LU et al., 2004), os índices de vegetação (LUNETTA et al., 2006) e a análise por componentes principais (MALDONADO; SANTOS; CARVALHO, 2002). Além destas, uma nova foi desenvolvida por Maldonado (2004), denominada de técnica de rotação radiométrica controlada por eixos de não mudança - RCEN.

A razão de imagens é considerada um meio relativamente rápido para a identificação de áreas com mudanças, em que duas imagens são registradas a partir de datas diferentes em uma ou mais faixas espectrais para a realização de uma operação aritmética e obtenção da imagem razão (SINGH, 1989). De acordo com as análises de Singh (1989), sua aplicação em imagens dos satélites da série Landsat, apresentou resultados com boa exatidão na detecção das alterações. Porém, recomendou-se a realização de estudos posteriores de análise estatística da distribuição dos pixels no histograma da imagem razão, para maior validação do produto final (SINGH, 1989).

O método de diferenciação de imagens ocorre quando as imagens adquiridas são subtraídas produzindo uma imagem residual, representando as mudanças ocorrentes entre as duas datas (MÁS, 1998). Foi aplicado por Más (1998), utilizando dados do satélite Landsat, sensor MSS, e comprimentos de ondas referentes às bandas do verde e do infravermelho próximo. Fotografias aéreas serviram como fonte de avaliação da acurácia dos resultados, destacando que a técnica apresentou satisfatório desempenho por indicar a origem das mudanças (MÁS, 1998).

A análise de vetor de mudanças baseia-se em transformações radiométricas entre duas ou mais imagens de satélites de datas diferentes, com a utilização de uma ou mais bandas espectrais (LORENA; SANTOS; SHIMABUKURO, 2004). Foi empregada por Lorena, Santos e Shimabukuro (2004), fornecendo informações sobre a magnitude e o tipo de mudanças, sendo caracterizadas por vetores que possuem uma direção num espaço multiespectral. Foi aplicada a partir de dados do Landsat, sensor TM, para o monitoramento da dinâmica de uso e cobertura da parte ocidental da Amazônia brasileira, detectando áreas com regeneração, desmatamento, perda de biomassa, queimada e água. Apresentou um erro percentual inferior a 8% na categorização dessas áreas (LORENA; SANTOS; SHIMABUKURO, 2004).

A comparação pós-classificação é um método que se baseia em comparações de resultados a partir de classificações já processadas sobre as imagens originais, para se detectar as mudanças (LU et al., 2004). Dessa forma, Lu et al. (2004) afirma que a principal vantagem deste método é a capacidade de fornecer informações com valores reduzidos de interferências da atmosférica. A comparação pós-classificação foi aplicada em imagens dos satélites da série Landsat, sendo considerada uma abordagem bastante utilizada para a detecção de mudanças na prática (LU et al., 2004). Para Lu et al. (2004), quanto maior a quantidade de amostras confiáveis, melhor serão os resultados obtidos sobre a classificação final.

Os índices de vegetação se baseiam em modelos matemáticos desenvolvidos para detectar as mudanças na cobertura vegetal, diagnosticando biomassa, produtividade, índice de área foliar, entre outros (LUNETTA et al., 2006). Foi aplicado em Lunetta et al. (2006) o índice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a partir de produtos Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dos satélites Terra e Aqua, para se estudar áreas agricultáveis e não agricultáveis nos Estados Unidos. Foi necessária nesta pesquisa, a realização de uma análise da fenologia dos produtos agrícolas para se obter uma adequada detecção de mudanças e aprofundamento no estudo da dinâmica de uso da terra agrícola.

A análise por componentes principais é uma técnica de transformação linear, caracterizada por reduzir a dimensionalidade dos dados, permitindo o tratamento de duas imagens concomitantemente em um espaço de atributos (MALDONADO; SANTOS; CARVALHO, 2002). Foi aplicada por Maldonado, Santos e Carvalho (2002) a partir de imagens do satélite Landsat, sensor TM, para analisar uma área da região semi-árida brasileira. Fez uso das principais componentes para a rotação controlada por matriz de covariância em imagens multitemporais, utilizando o comprimento de onda referente às bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Os resultados apresentaram classes com uma intensa e uma branda degradação, uma forte e uma fraca recuperação da cobertura vegetal, seguida de uma classe de não mudança (MALDONADO; SANTOS; CARVALHO, 2002).

A RCEN segue a aplicabilidade da Análise por Componentes Principais (ACP), porém é um método alternativo para minimizar o efeito da variabilidade nas condições da atmosfera e evitando complicados processamentos digitais (MALDONADO, 2004). De acordo com a finalidade, selecionam-se as bandas necessárias para se aplicar a RCEN e a ACP, em que para detecção de mudanças, é possível a utilização mínima de duas imagens de diferentes datas e da mesma faixa espectral de interesse. Assim, a segunda componente principal contém a informação sobre as mudanças nas feições que discrimina a banda situada nesta faixa espectral (MALDONADO, 2004).

2.2.4.1. Técnica de Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não mudança (RCEN)

Para Maldonado, Martinelli e Carvalho (2004), a técnica RCEN se fundamenta no fato de que, tais transformações na paisagem produzem, geralmente, alterações numéricas maiores do que aquelas geradas por outros fatores que modificam a resposta espectral dos alvos nas imagens sensoriadas. Como exemplo, temos as diferenças atmosféricas e geometria de iluminação, sendo necessário, no entanto, controlar pelo menos em parte, a influência desses fatores extrínsecos, que segundo Nelson et al. (2005), é necessário realizar uma normalização entre os dados multitemporais.

A RCEN é definida por Maldonado (2004) como uma técnica simples que minimiza as diferenças entre efeitos atmosféricos até diferenças entre sensores. Utiliza a equação de uma diferença entre bandas com dois coeficientes em cada termo da diferença, relacionados a

um parâmetro angular que caracteriza e minimiza as diferenças entre elas, gerando uma imagem detecção (Figura 2.1) (MALDONADO et al., 2009).

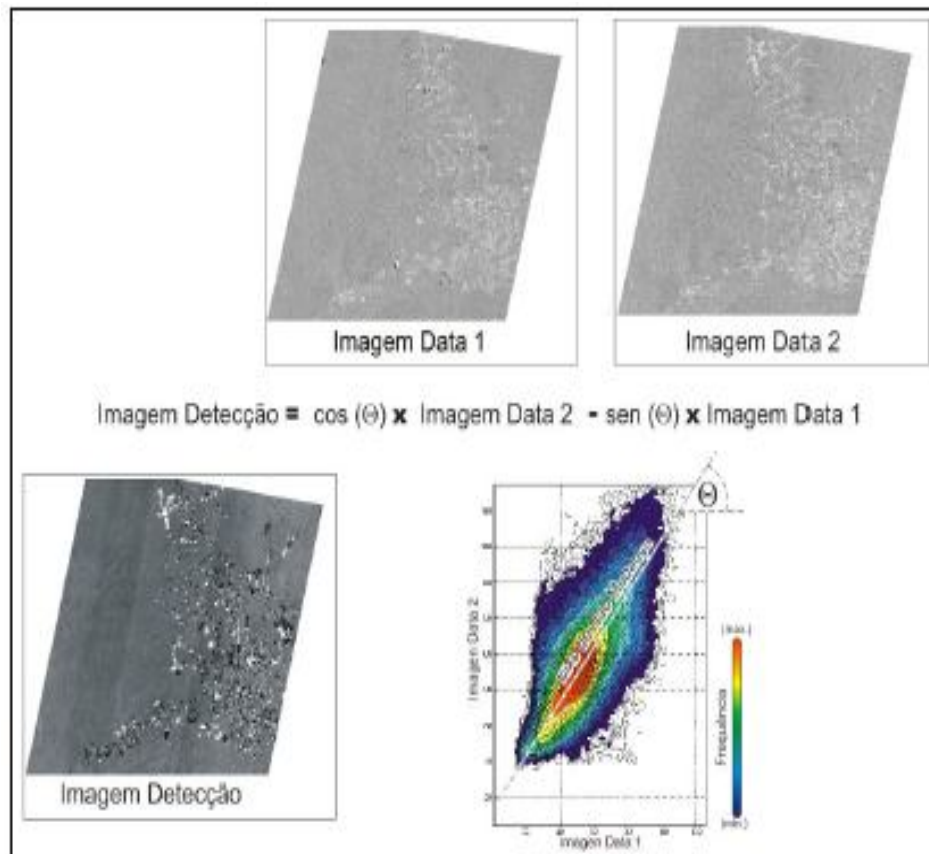


Figura 2.1 - Equação de ilustração da RCEN
 Fonte: Adaptado de Cunha, Graça e Maldonado (2009).

A rotação radiométrica por eixo de não mudança se baseia na comparação de duas imagens da mesma banda espectral de duas épocas distintas, com a vantagem de não ser necessário o uso de complexos procedimentos metodológicos de calibração, correção da reflectância aparente ou correção atmosférica (MALDONADO; MARTINELLI; CARVALHO, 2004).

Em áreas onde não ocorrem mudanças de uso e cobertura da terra, há significativa correlação de valores espectrais para as imagens investigadas. Para que a comparação seja feita, as duas imagens são colocadas em um mesmo espaço de atributos de eixos ortogonais (Figura 3.1) (MALDONADO, 2004).

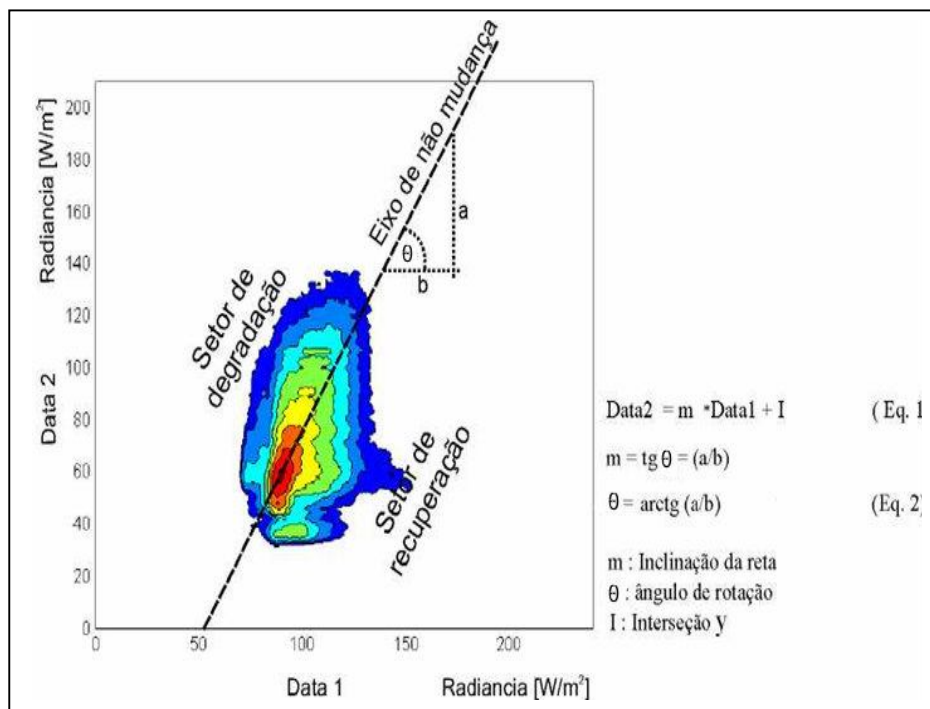


Figura 3.1 - Diagrama analítico das medidas para obter os parâmetros de rotação.
Fonte: Adaptado de Maldonado (2004).

Em específico, a RCEN produz a rotação dos eixos ortogonais, em relação ao eixo formado pela reta de regressão dos pontos identificados como pertencentes à classe de não mudança. O ângulo da rotação (α) é determinado pelo cálculo do arco tangente da inclinação da reta na regressão linear dos pixels de não mudança definidos no terreno. A imagem de mudanças é gerada utilizando o algoritmo de rotação simples, dado pela Equação 4.

$$I_{Det} = \cos(\alpha) \cdot I_{Data2} - \sin(\alpha) \cdot I_{Data1} \quad (4)$$

Em que:

- I_{Det} = imagem detecção de mudanças;
- α = ângulo de rotação, dado pelo arco tangente da reta na regressão linear dos pixels de não mudança;
- I_{Data1} = banda espectral na primeira data;
- I_{Data2} = banda espectral na segunda data.

O principal parâmetro de funcionamento da RCEN é o ângulo de rotação inferido da inclinação do “Eixo de não mudança”, em que a imagem detecção de mudanças possui

valores de níveis de cinza que não mudam, sendo próximos aos da média da imagem. Os valores que mudam, correspondem à perda ou ganho do tipo de cobertura que está sendo avaliado (MALDONADO et al., 2009). As imagens geradas revelam a intensidade da mudança ocorrida na cobertura/uso da terra. Tons médios de cinza representam mudanças de intensidade baixa (não mudança), ou seja, áreas cuja cobertura continua original no intervalo de tempo considerado (GRAÇA; MALDONADO; FEARNSTIDE, 2007).

Um estudo realizado por Quirino et al. (2005) utiliza a técnica de rotação radiométrica de imagens Landsat/TM como ferramenta de detecção de mudanças da paisagem na Amazônia brasileira, apresentando um mapa com as alterações no uso e cobertura da terra no período de 1999-2004 a partir da banda espectral do vermelho. O resultado foi significativo em termos de acurácia e simplicidade, quando se objetiva o monitoramento ambiental (Figura 4.1).

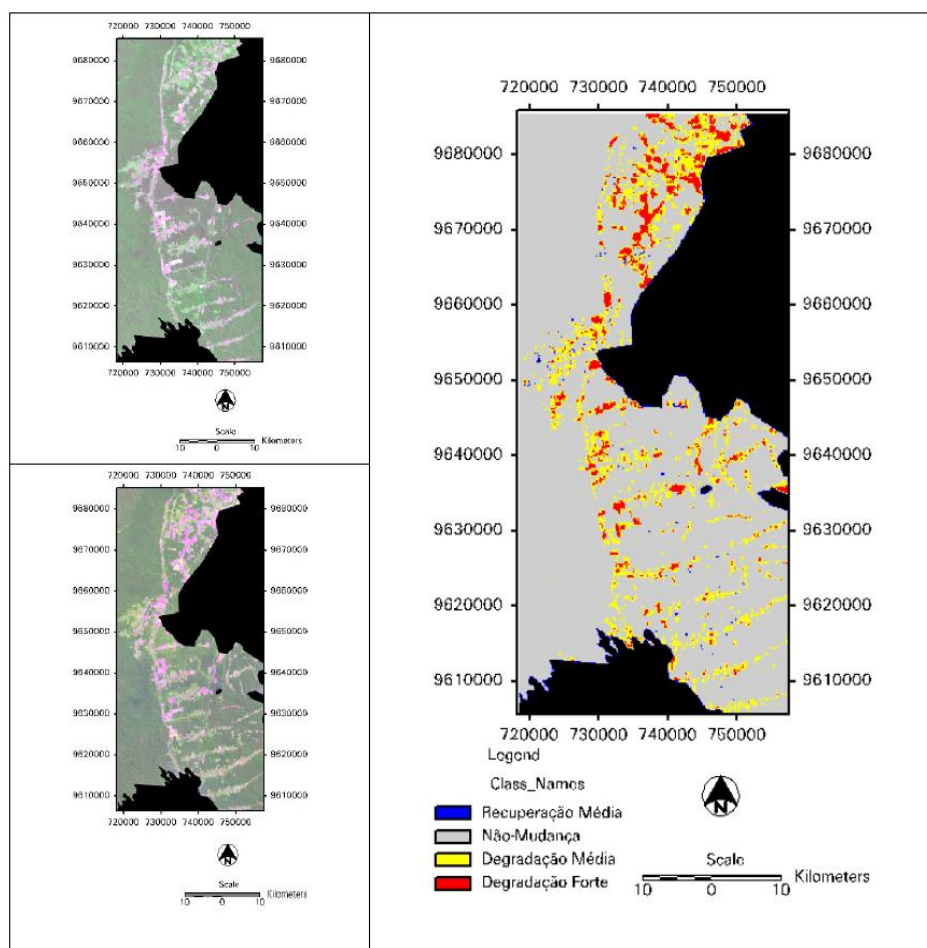


Figura 4.1 - Imagens LANDSAT/TM de 1999 (em cima, à esquerda) e 2004 (embaixo, à esquerda) e correspondente mapa (à direita) de detecção de mudanças a partir da RCEN.

Fonte: Adaptado de Quirino et al. (2005).

Outra pesquisa utilizando a técnica RCEN foi realizada por Maldonado, Santos e Graça (2007). A área em análise era a região semiárida do nordeste do Brasil, na qual se utilizou imagens Landsat/TM nas estações secas de 1984 e 1996 em conjunto com duas imagens Landsat/ETM+ para as estações secas de 1999 e 2001. Foram gerados três mapas de mudanças, comparando-se 1984–2001, 1996–2001 e 1999–2001 de acordo com o intervalo espectral correspondente à banda do vermelho (TM3). Os mapas estão disponíveis a partir da Figura 5.1.

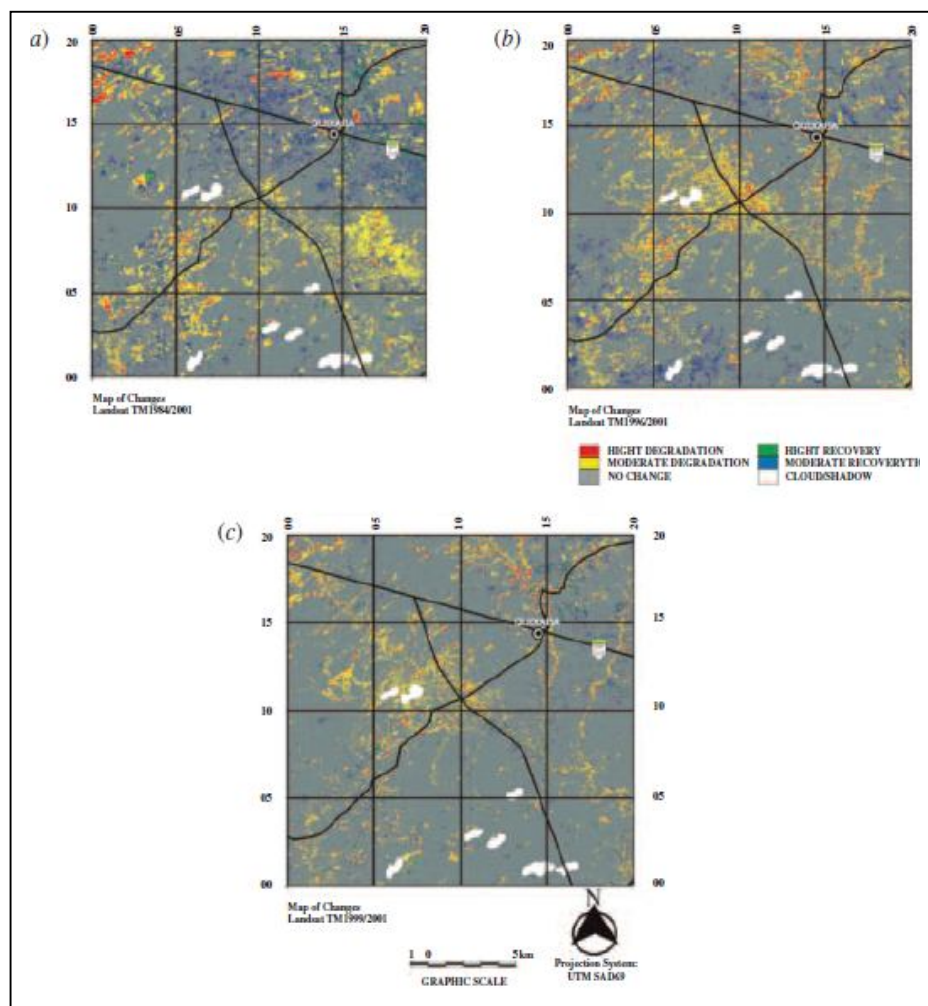


Figura 5.1 - Mapas de mudanças no semiárido a partir da RCEN.

Fonte: Adaptado de Maldonado, Santos e Graça (2007).

A técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança fornece uma maneira eficiente e consistente para a identificação de áreas que sofreram alterações em um determinado intervalo de tempo (MALDONADO; SANTOS; GRAÇA, 2007).

2.2.5. Satélites Landsat

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 70, a partir de um projeto desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) dos Estados Unidos, dedicado a observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) e em 1975 passou a se chamar Landsat (NASA, 2014). A NASA é responsável por desenvolver instrumentos e aparelhos espaciais para lançamentos e desempenho dos satélites, sendo apresentados a partir da Tabela 1.1 os satélites da série. Conta com a colaboração da United States Geological Survey (USGS), auxiliando na geração de produtos, recepção, distribuição e arquivamento de dados dos satélites a partir do lançamento do Landsat 8 (NASA, 2014).

Tabela 1.1 - Características dos satélites Landsat.

SATÉLITES DA SÉRIE LANDSAT								
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1982	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Falha no lançamento (Inativo)	Ativo (a partir de 31/05/2003, modo SLC-Off)	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103 min	103 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min	99 min
Horário de Passagem	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	10:00 AM	10:18 AM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	-	5 anos	5 anos
Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: Adaptado da USGS (2014).

2.2.5.1 Landsat 5

A NASA lançou o satélite Landsat 5 dispondo a bordo o sensor Thematic Mapper (TM), que possui uma separação espectral adequada para oferecer subsídios aos mapeamentos temáticos na área dos recursos naturais terrestres (NASA, 2014). Em termos de avanços tecnológicos, o sensor TM apresentou melhorias significativas em relação ao seu antecessor, o sensor Multispectral Scanner System (MSS), utilizado desde o princípio da série dos satélites Landsat. As vantagens do TM estão relacionadas quanto à resolução espacial, a acurácia radiométrica e ao posicionamento geométrico (NASA, 2014). A partir da Tabela 2.1 é possível visualizar as principais características do sensor TM.

Tabela 2.1 - Características do sensor TM.

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	ÁREA IMAGEADA	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
TM (Thematic Mapper)	(1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(2) VERDE	0.52 - 0.60 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm	120 m	16 dias	185 km	8 bits
	(7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits

Fonte: Adaptado da USGS (2014).

2.2.5.2. Landsat 8

O Landsat 8 é o mais recente lançado à órbita terrestre. Ele possui dois instrumentos imageadores, o Operational Land Imager (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática, e o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros, para coincidir com a maioria das bandas do sistema OLI (USGS, 2014). Disponibilizou gratuitamente as imagens a partir do segundo semestre de 2013, na qual estas imagens são orientadas ao norte verdadeiro com precisão planimétrica de 12 metros (USGS, 2014). A partir da Tabela 3.1 é possível visualizar as principais características dos sensores OLI e TIRS.

Tabela 3.1 - Características dos sensores OLI e TIRS.

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	ÁREA IMAGEADA	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
OLI (Operational Land Imager)	(1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(2) AZUL	0.450 - 0.515 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(3) VERDE	0.525 - 0.600 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	15 m	16 dias	185 km	12 bits
	(9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(10) LWIR – 1	10.30 - 11.30 μm	100 m	16 dias	185 km	12 bits
	(11) LWIR – 2	11.50 - 12.50 μm	100 m	16 dias	185 km	12 bits

Fonte: Adaptado da USGS (2014).

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM) (Figura 6.1), que pertence à região nordeste do Brasil, litoral oriental do Estado do Maranhão, especificamente situado na Mesorregião Norte Maranhense e Microrregião dos Lençóis Maranhenses (IBGE, 2002). Tornou-se um território de proteção ambiental por meio do Decreto Federal nº 86.060, de 02 de junho de 1981 (BRASIL, 1981). Esta Unidade de Conservação (UC) apresenta uma linha de costa regular, com uma extensa área coberta por dunas de areia, que compreendem uma área de 155.000ha, abrangendo os municípios de Santo Amaro, Primeira Cruz e Barreirinhas, com suas coordenadas geográficas de 02° 19' S a 02° 45' S e 42° 44' W a 43° 29' W. Seus seguintes limites são: a norte com o Oceano Atlântico, a sul com Santo Amaro e Barreirinhas, a leste com o município de Paulino Neves, e a oeste com Primeira Cruz e Santo Amaro (IBAMA, 2003).

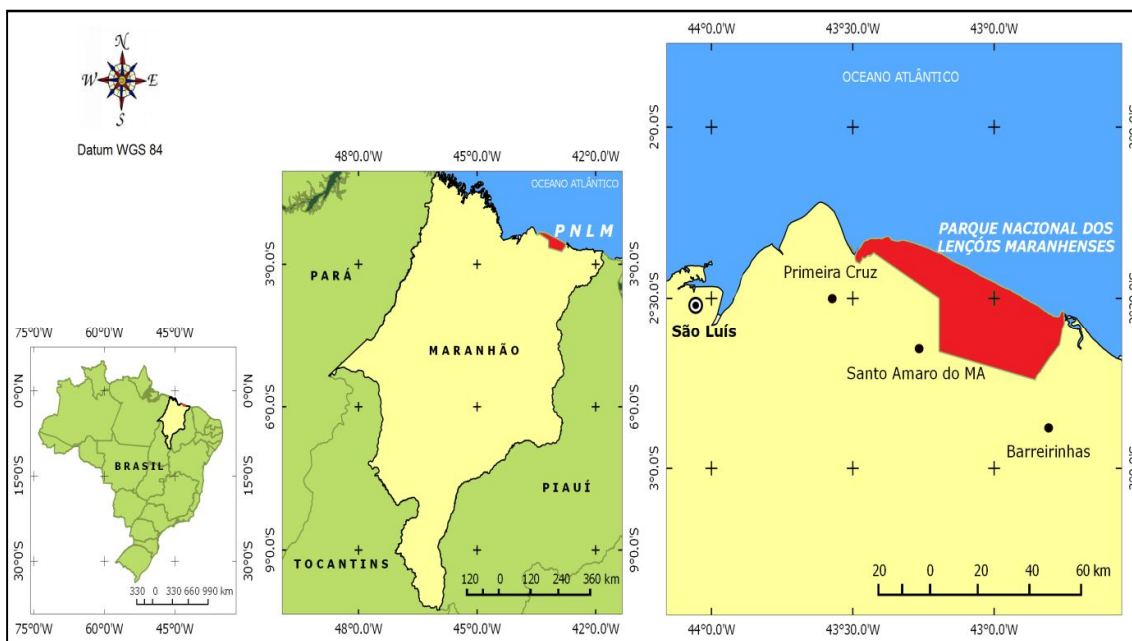


Figura 6.1 - Mapa de localização do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses.

O acesso à área de pesquisa por via terrestre, quando realizado a partir da capital São Luís, ocorre por intermédio da BR 135 e depois pela MA 402 até chegar à cidade de Barreirinhas. Em seguida, o percurso ocorre por vias não pavimentadas até o PNLM (Figura 7.1).



Figura 7.1 - Acesso realizado da cidade de Barreirinhas ao PNLM.

O traslado do município de Barreirinhas até o PNLM é realizado diariamente por meio de veículos automotores com o sistema de tração 4x4, adaptados às características do solo do trajeto.

3.1. Feições Geomorfológicas

A modelagem do PNLM assim como das zonas costeiras é oriunda de uma constante dinâmica de seus elementos, que em longos ou pequenos períodos de tempo podem ocasionar particulares mudanças em toda sua área e regiões circunvizinhas. Nesta perspectiva, Christofolletti (1980) afirma que a configuração atual destas paisagens é produto de vários processos ou interações entre estes.

Em virtude de sua natureza e extensão espacial, os Lençóis Maranhenses segundo Gonçalves et al. (2003), exhibe o maior registro de sedimentação eólica do Quaternário encontrado na América do Sul. Na referida área destacam-se as seguintes entidades morfológicas: praias, lençóis de areia, pontais, cordões e terraços arenosos, planícies de deflação, inundação e maré, além das dunas barcanas, parabólicas, oblíquas e das cadeias de barcanas, parabólicas e transversais (SANTOS; SANTOS, 2015).

A planície costeira em que se insere o PNLM, e respectiva zona de entorno, caracteriza-se por apresentar um relevo suave a moderadamente ondulado, no qual são comuns extensos campos de dunas móveis, de diversas configurações, com altura média em torno de 30m (SANTOS, 2008). O fator preponderante na formação dessa paisagem é a sedimentação que ocorre no litoral pela força da maré e da corrente marítima (CASTRO, 2012). Essas forças trazem e retrabalham os sedimentos, transportados até a costa, principalmente pelos rios Parnaíba e Preguiças, que são lançados, continente adentro pela força dos ventos (CASTRO, 2012).

A constante migração dunária obedece rigorosamente a um controle sazonal, visto que, durante os meses chuvosos, normalmente de janeiro a junho, ocorre a elevação do lençol freático e consequente fixação das dunas, enquanto que no período de estiagem, geralmente de julho a dezembro, ocorre o rebaixamento do lençol freático e as dunas migram (GONÇALVES et al., 2003). Para Feitosa (2005), é no período chuvoso que ocorre o maior acúmulo de água, pois a chuva é o principal fator responsável pela formação das lagoas que ocupam as depressões entre dunas, alimentadas pelo excedente hídrico acumulado pelas dunas (Figura 8.1).



Figura 8.1 - Lagoas entre as dunas.

As areias dos Lençóis Maranhenses são quartzosas marinhas de coloração cinza esbranquiçada, fina a média com pequenas proporções de argila, moderada e bem selecionada. O horizonte A apresenta espessura inferior a 20 cm e contém matéria orgânica parcialmente decomposta. São encontrados principalmente nos campos hidrófilo de restinga e áreas flúvio-marinhas (IBAMA, 2003).

As areias apresentam diâmetro médio da partícula de ocorrência mais freqüente compreendido entre os valores de 0,177 a 0,125mm e 0,354 a 0,250mm, referente a areias finas e médias, respectivamente. Estas podem ser encontradas nas praias, nos lençóis de areia, nas margens lacustres, na base das cadeias de dunas, nas localidades com vegetação de restinga, bem como no limite entre os campos de dunas livres e fixas. Os diâmetros dos sedimentos arenosos diminuem à medida que se afastam da linha de costa, confirmando a significativa capacidade de transporte dos ventos alísios de NE na modelagem das feições morfológicas do PNLM (IBAMA, 2003).

3.1.1 Tipos de dunas

O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses possui um Plano de Manejo de acordo com o IBAMA (2003) a partir das contribuições de Gonçalves (1997), sendo assim, as principais dunas encontradas são as Barcanas, cadeia de Barcanas ou Barcanóides, Parabólicas e Longitudinais (Figura 9.1).

As Barcanas possuem um formato de lua crescente, em que o lado convexo posiciona-se na direção do vento (SUGUIO, 1992). No PNLM orientam-se conforme a direção dos alísios de NE e apresentam declive mais suave no lado convexo (barlavento) e declive mais abrupto, variando de 10° a 50°, no lado côncavo (sotavento). Possuem largura significativamente maior que a altura e seu surgimento estão relacionadas ao período de estiagem quando o transporte de sedimentos é intensificado (GONÇALVES, 1997).

As cadeias de Barcanas ou Barcanóides se formam a partir da união lateral de dunas barcanas, que gradativamente vão crescendo à medida que se afastam da zona próxima à praia em direção ao interior do continente. De acordo com a quantidade de sedimentos existentes podem assumir variadas dimensões, reduzindo significativamente sua velocidade conforme aumentam de tamanho. Nos Lençóis Maranhenses, esta é a forma mais comum de dunas, disposta transversalmente ao sentido do vento (GONÇALVES, 1997).

As dunas Parabólicas originam-se devido ao aprisionamento dos braços das barcanas pela vegetação ou umidade e, em seguida, o lado convexo desta última se inverte,

transformando-se no lado côncavo da parabólica (GONÇALVES, 1997). Sendo assim, Suguio (1992) ratifica que essas dunas são semelhantes a uma parábola, com o lado côncavo dirigido para o vento. Estas dunas ocorrem eventualmente ao sul do campo de dunas livres, apresentando formas simétricas e assimétricas em termos de tamanho dos braços das dunas, com dimensões variadas (GONÇALVES, 1997).

As Longitudinais se desenvolvem nas porções laterais das dunas barcanas e de cadeias barcanóides após o processo de migração (GONÇALVES, 1997). Caracterizam-se de acordo com Mckee (1979), pela forma de cordões simétricos que apresentam duas faces de deslizamento. Alinham-se conforme a direção dos ventos alísios de NE e se restringem à área limite entre o campo de dunas livres e fixas, principalmente no setor SE do parque, onde o referido limite é mais bem definido, possivelmente devido ao controle da vegetação e/ou dos cursos d'água existentes no local (GONÇALVES, 1997).

As formas das dunas do PNLM são influenciadas pelas condições climáticas. Na estiagem, o transporte eólico é intenso resultando no avanço dunário principalmente nas áreas limítrofes das dunas fixas e livres (IBAMA, 2003). No período chuvoso a migração é reduzida e nas áreas de contato das dunas livres com cursos d'água ocorre uma erosão hídrica e, conseqüentemente, um pequeno recuo das dunas (IBAMA, 2003).

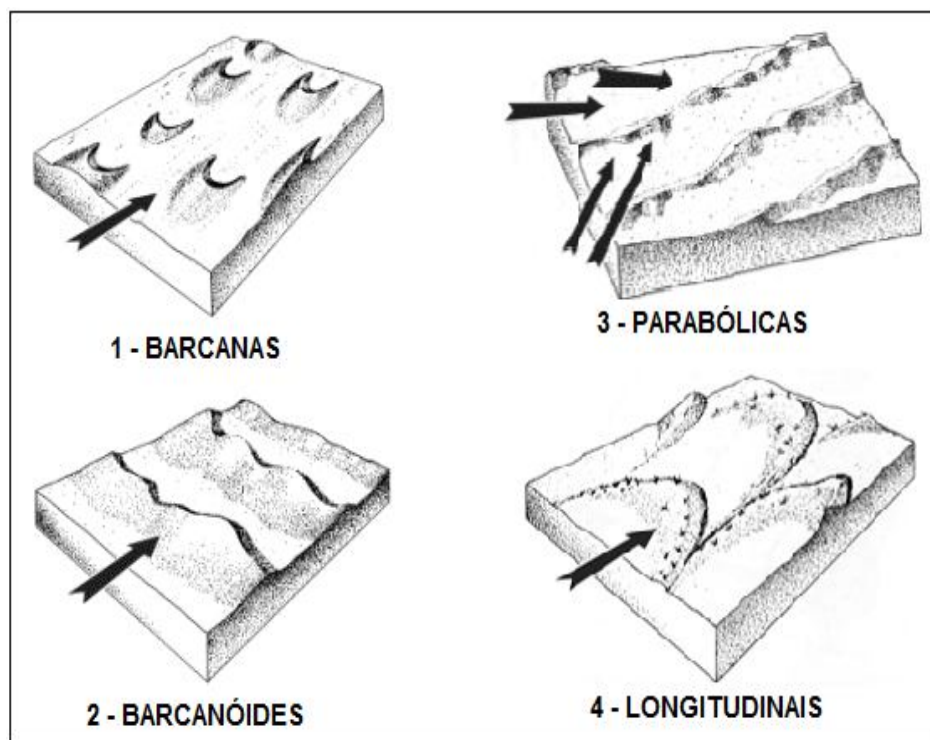


Figura 9.1 - Tipos de dunas.
Fonte: Adaptado de Mckee (1979).

3.2. Clima, Vegetação e Hidrografia

Para o IBGE (1977) o clima do Estado do Maranhão é classificado como semiúmido tropical de zona equatorial, variando para clima quente semiárido tropical de zona equatorial. Ao longo do litoral maranhense, o clima varia de superúmido a semiúmido (IBGE, 1977). A área do PNLM apresenta de acordo com o IBAMA (2003), um clima tropical megatérmico, muito quente, úmido a subúmido, com precipitações distribuídas em dois períodos sazonais distintos ao longo do ano. De fevereiro a maio caracteriza-se o período chuvoso, enquanto que de agosto a dezembro, tem-se o período de estiagem (MARANHÃO, 2003).

A região costeira maranhense recebe ao longo do ano a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e das altas pressões estacionárias do Atlântico Sul (IBAMA, 2003). A ZCIT é definida por um conjunto de variáveis meteorológicas que atuam sobre os oceanos, como a convergência dos ventos alísios de NE e de SE e a área de máxima temperatura da superfície do mar (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009). A ZCIT é considerada a principal feição atmosférica a controlar a distribuição espacial e temporal da precipitação e do vento no PNLM. Ela está posicionada sobre a área nos meses de alta precipitação, ficando mais ao norte quando a precipitação é reduzida (GUEDES, 2012) (Figura 10.1).

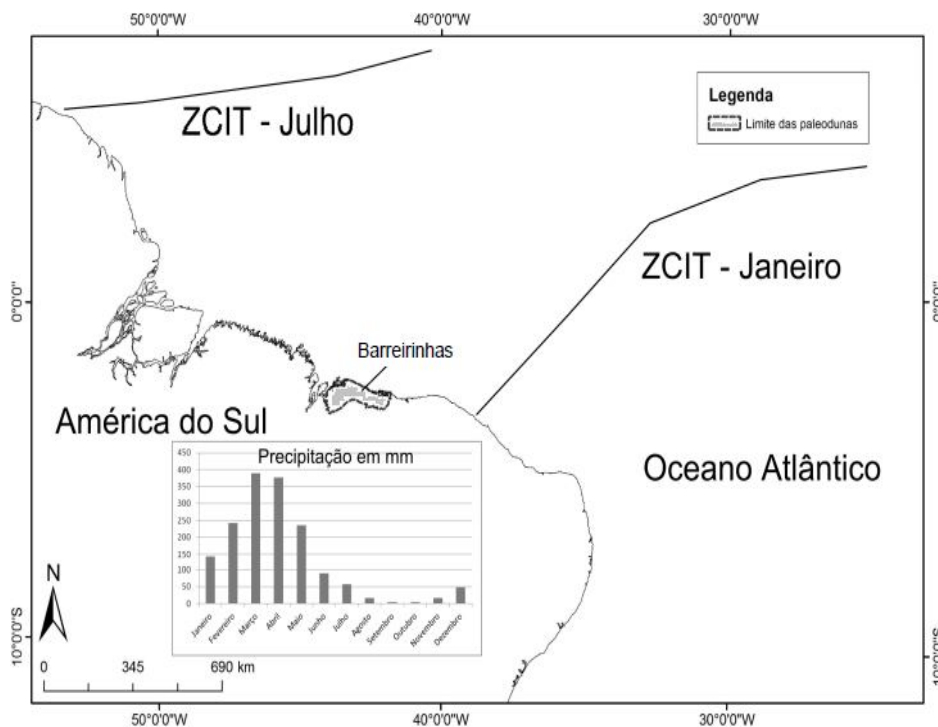


Figura 10.1 - Influência do ZCIT no PNLM.

Fonte: Adaptado de Guedes (2012).

Outros fenômenos meteorológicos que causam estiagens ou chuvas acentuadas é a ocorrência de El Niño e La Niña respectivamente. Para o CPTEC/INPE (2015), o El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. Santos (2008), afirma que quando ocorre o inverso, ou seja, o esfriamento das águas do oceano Pacífico Tropical, tem-se então a La Niña.

Os episódios de El Niño e La Niña duram aproximadamente de 9 a 12 meses, começando geralmente em julho ou agosto, alcançando seu pico de dezembro a abril e decaindo de maio a julho do ano seguinte. Estes fenômenos tendem a se alternar em cada 3 a 7 anos, podendo ocorrer que um evento seguinte varie de 1 a 10 anos (SANTOS, 2008) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Períodos de ocorrência de El Niño e La Niña e sua intensidade no período analisado.

EL NIÑO		LA NIÑA	
1982 - 1983	Forte	1983 - 1984	Fraco
1986 - 1988	Moderado	1984 - 1985	Fraco
1990 - 1993	Forte	1988 - 1989	Forte
1994 - 1995	Moderado	1995 - 1996	Fraco
1997 - 1998	Forte	1998 - 2001	Moderado
2002 - 2003	Moderado	2007 - 2008	Forte
2004 - 2005	Fraco	–	–
2006 - 2007	Fraco	–	–
2009 - 2010	Fraco	–	–

Fonte: CPTEC/INPE (2015).

A estação meteorológica mais próxima do PNLM é a de São Luís, na qual se constatou a presença dos ventos com direção NE, E, SE, em ordem decrescente de frequência (Figura 11.1). Segundo Gonçalves (1997) estes ventos são os responsáveis pelo efetivo transporte de areia na construção dos campos de dunas.

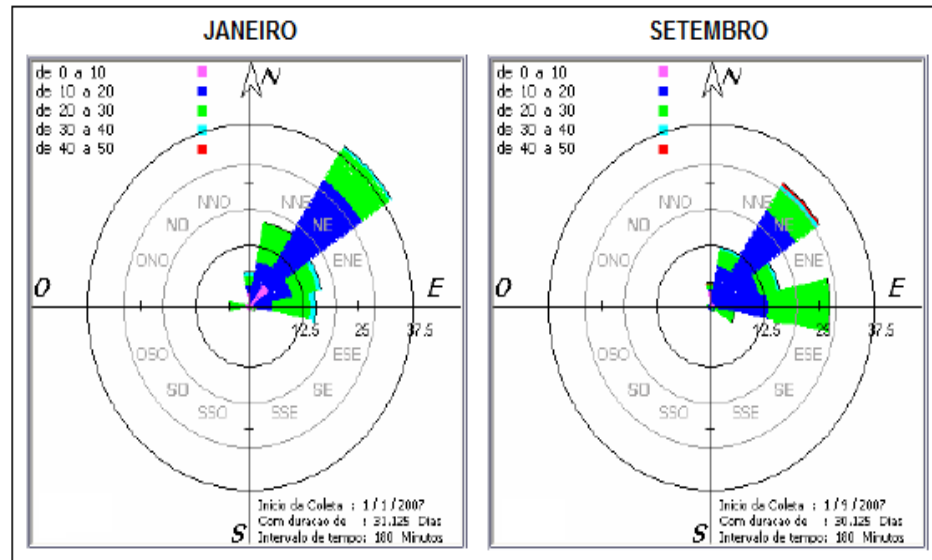


Figura 11.1 - Diagrama de rosa com intensidade dos ventos em janeiro (período chuvoso) e setembro (período de estiagem) - Estação São Luís, 2007.
Fonte: Adaptado de GASTÃO/CPTEC/INPE (2010).

A grande contribuição na formação da paisagem do Parque dos Lençóis é dada pela circulação atmosférica local, que segundo Santos e Silva (2009), os ventos alísios, juntamente com as temperaturas e o regime pluviométrico, encontram um solo sedimentar e moldam um relevo suavemente ondulado coberto por campos de dunas móveis cujas configurações acompanham o sentido dos ventos.

Na região do PNLM, a velocidade do vento atinge média de 8,3m/s no período seco e 6,1m/s no período chuvoso, variando de regular a moderado. No período seco a velocidade do vento aumenta, podendo alcançar velocidades iguais ou superiores a 14,1m/s, caracterizando-se como ventos fortes. Os ventos deslocam-se em rajadas sucessivas promovendo mudanças significativas na dinâmica costeira (IBAMA, 2003).

A influência dos alísios na circulação local contém, em média, 79,4% de umidade relativa do ar que, associado à grande quantidade de nebulosidade durante o ano todo, faz com que a temperatura em grande parte da costa maranhense seja amenizada. No período chuvoso, a temperatura média é de 30°C e no período seco é de 31°C, sugerindo a manutenção de temperaturas elevadas durante o ano todo (IBAMA, 2003).

A umidade relativa do ar para o PNLM alcançou valor médio de 68,4% no período chuvoso e 67,2% no período seco. Considerando as temperaturas elevadas, a umidade atinge valores recomendáveis para o ambiente, provocando certo conforto térmico em decorrência da influencia da massa de ar tropical marítima e devido aos rios, lagos e lagunas presentes na área (IBAMA, 2003).

A precipitação regional é variável positivamente no sentido Leste-Oeste, como consequência da elevada umidade do ar e da variação das perturbações de correntes. Na porção oriental, as precipitações aproximam-se das que permitem a ocorrência de florestas, em torno de 2.000 mm, sendo que nas áreas próximas ao PNLM os totais pluviométricos anuais variam de 1.473 mm a 1.623 mm (IBAMA, 2003). O regime pluviométrico é caracterizado por máximas de fevereiro a maio, chovendo cerca de 90% do total anual e mínimas de agosto a dezembro, chovendo apenas 10% do total anual (MARANHÃO, 2003). Esse regime pluviométrico permite a formação de corpos hídricos no local e consequentemente o desenvolvimento de vegetais.

Devido às condições edáficas do solo arenoso, ventos, temperatura, salinidade, solo instável, insolação forte e direta, no PNLM ocorre predomínio de vegetação de restinga em alguns pontos de campo de dunas livres e em todo o entorno da Unidade de Conservação (IBAMA, 2003).

Pelo manual da vegetação brasileira do IBGE (1992), podemos classificar a área dos Lençóis como de vegetação primária (como Formação Pioneira), apresentando influência marinha (restingas), fluviomarinha (Manguezais) e fluvial (Aluviais). No início do século XX, as restingas, geralmente composta por comunidades herbáceas, esclerófilas arbustivas e/ou arbóreas, e higrófilas, ocupavam pouco mais de 89%, os manguezais representavam pouco mais de 10% e o restante do parque era de comunidades aluviais e matas ciliares (estas somente com 0.4%). Entre algumas espécies ocorrentes no parque e em sua área de entorno, pode-se citar o mirim, *Humiria balsamifera*; o murici, *Byrsonima SP*; o jatobá, *Hymenaea parvifolia*; o guajiru, *Chrysobalanus Icaco*; o cajuí *Anacardium microcarpum*, L; o caju, *Anacardium occidentale*, L; o puçá, *Mouriri cearensis*; a janaúba, *Himathantus articulatus*; a azeitona, *Ouratea spruceana*; a maçaranduba, *Manilkara sp*; entre outras (IBAMA, 2003).

A constante migração de sedimentos ocasiona mudanças nas localizações das dunas e produz consequentemente o seu avanço em direção a alguns corpos hídricos (Figura 12.1), assim como o soterramento de parte dos vegetais presentes na área e em regiões circunvizinhas (Figura 13.1).



Figura 12.1 - Dunas avançando em direção a corpos hídricos no PNLM.



Figura 13.1 - Vegetação circunvizinha ao campo de dunas do PNLM.

É importante ressaltar a afirmação de Santos e Silva (2009), na qual a cobertura vegetal tem, juntamente com a hidrografia, uma importância fundamental, no tocante a redução da taxa de migração das dunas móveis, em determinados setores do parque, bem como na manutenção da biodiversidade local (Figura 14.1).



Figura 14.1 - Cobertura vegetal fixando as dunas na área limítrofe interna do PNLM.

A hidrografia do PNLM é composta por rios, lagos, lagoas e lagunas, os quais são importantes no controle da movimentação eólica, que segundo Santos et al. (2005) dificultam a migração das dunas sobre as paleodunas e sobre as planícies de deflação eólica sub atuais, situadas contiguamente à frente das dunas móveis.

Os rios de relevância são o rio Grande e o rio Negro, responsáveis pela maior parte da manutenção hídrica da região do parque, possibilitando em seus trajetos o surgimento de outros corpos hídricos como a lagoa de Betânia e a lagoa da Esperança respectivamente. Ambos seguem em direção NE, com canais meandantes e anastomosados. A diferença entre eles é que o rio Grande possui drenagem do tipo endorréica, enquanto que o rio Negro apresenta a do tipo exorréica, sendo o único que consegue transpor o extenso campo de dunas livres com foz no oceano Atlântico (IBAMA, 2003).

O rio Preguiças também se configura como importante curso d'água do município de Barreirinhas e das adjacências do PNLM. Navegável todo o ano, caracteriza-se como a principal via de ligação entre povoados, como Atins e Mandacaru, com a sede municipal, quando não realizado alternativamente por via terrestre (IBAMA, 2003).

Os lagos Santo Amaro e Travosa são os maiores e principais da Unidade de Conservação, na qual apresentam significativa área com várias micro-feições como: bancos arenosos, ilhas, pontais e margens lacustres sujeitas a inundações no período chuvoso. Ao final do período de estiagem, com o espelho d'água reduzido, podem ocorrer pequenos

avanços, em determinados trechos, das cadeias de dunas barcanas sobre a margem lacustre (IBAMA, 2003).

No limite entre o campo de dunas móveis e fixas, encontram-se as lagoas da Esperança e da Betânia, na qual resultam da acumulação e/ou alargamento dos dois principais rios da região, lhes conferindo significativa dimensão e profundidade. Já as lagoas interdunares possuem diferentes formas, tamanhos e profundidades, sendo formadas a partir das águas das precipitações pluviométricas e do afloramento do lençol freático. No período de estiagem, apenas as mais profundas permanecem no local (IBAMA, 2003). As lagoas proporcionam a beleza cênica do PNLM. De acordo com Santos (2008), as águas verdes e azuis em contraste com as areias brancas das dunas fazem com que algumas destas lagoas, como a Azul, Bonita, do Peixe, dentre outras, sejam utilizadas como pontos turísticos.

As lagunas existentes distribuem-se na planície de deflação eólica, próximas ao litoral, observadas em extensas depressões de pequena profundidade preenchidas com água salgada em comunicação com o mar, pelo fluxo e refluxo das marés de sizígia. Devido à significativa dinâmica costeira do local, algumas dessas feições morfológicas são efêmeras, surgindo e/ou desaparecendo em curto espaço de tempo (IBAMA, 2003).

3.3. Descrição Sócio Econômica

A região dos Lençóis Maranhenses teve duas frentes de povoamento, que segundo Castro (2012), a mais antiga foi advinda da expansão da ocupação promovida a partir da capital do Maranhão, que se fixou nas paisagens menos precária à produção local da subsistência. A segunda e mais tardia, veio de acordo com Castro (2012) do Leste, fugindo da seca e se fixou nas restingas arbustivas, nos rios menores ou em margens fluviais ainda sem a influência das comunidades pré-existentes, e até mesmo nas restingas interiores dos Lençóis.

Os migrantes que chegaram à região do PNLM eram tanto pescadores quanto pecuaristas, que utilizavam os recursos naturais através de técnicas rudimentares, como o uso do fogo para a remoção da vegetação natural, sendo esta o cotidiano das relações sociais, ritmos e evolução do território (CASTRO, 2012).

A população dos municípios que o PNLM está inserido tem crescido segundo o censo demográfico do IBGE para os anos de 2000 a 2010 (Tabela 5.1). Fator que tem incrementado tal situação é a atividade turística como indutora da economia. Obras como a MA-402 (Translitorânea) que passa por Barreirinhas e pretende ligar São Luis às demais

capitais do Nordeste através do litoral, facilitou a visita ao PNLM e valorizou as terras nesta área (IBAMA, 2003).

Tabela 5.1 - População dos municípios da região do PNLM.

Ano	Primeira Cruz	Santo Amaro do Maranhão	Barreirinhas
2000	11.019	9.612	39.669
2007	11.999	11.155	47.850
2010	13.954	13.820	54.930

Fonte: IBGE (Censo demográfico - 2010).

Nas sedes municipais, situadas fora da zona de amortecimento da unidade de conservação, encontra-se o maior adensamento da população e, conseqüentemente, o aumento dos serviços públicos oferecidos, como hospital, escolas e outros estabelecimentos, mesmo que possuam certas deficiências (SANTOS, 2008).

A União, ao mesmo tempo em que tenta induzir o uso e a ocupação do solo baseado no turismo e apoiado pela iniciativa privada, tem almejado discipliná-lo por intermédio do IBAMA. Suas estratégias no sentido de adquirir/alocar terras a fim de viabilizar o turismo é mais expressivo em Barreirinhas, na qual concentra o maior contingente populacional (IBAMA, 2003).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD (2013), as condições de vida da população da região do PNLM têm apresentado melhorias. Essa avaliação é realizada através do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM, que é apresentado a partir da Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - IDHM das cidades que compõem o PNLM.

Ano	Primeira Cruz	Santo Amaro do Maranhão	Barreirinhas
1991	0,268	0,216	0,251
2000	0,378	0,336	0,361
2010	0,512	0,518	0,570

Fonte: PNUD (2013).

A economia dos municípios que o PNLM está inserido baseia-se em atividades como a agricultura, a pesca, o artesanato, e mais recentemente, o turismo. Na agricultura, os principais produtos cultivados são: mandioca, castanha-de-caju, laranja, coco-da-baía, banana,

milho, feijão, melancia, arroz. Na pecuária, destacam-se a criação de ovinos, aves, suínos, muares, caprinos, asininos, bubalinos e equinos, praticados de forma extensiva. Já a pesca é desenvolvida na zona costeira, com o uso de embarcações, em rios e lagoas, com a utilização de redes de emalhar, puçá, tarrafas e vara de pescar (IBAMA, 2003).

A comunidade residente na área da Unidade de Conservação é constituída principalmente por famílias tradicionais que utilizam a área de forma subsistente na pratica da agricultura ou pesca artesanal. Estas atividades são realizadas de forma permanente ou temporária, utilizando-se técnicas primárias (IBAMA, 2003) (Figura 15.1).



Figura 15.1 - Estabelecimento para atividades de subsistência de uma família residente na área do PNLM.

A ocorrência de caça dentro da Unidade de Conservação ocorre de forma esporádica. Ela acontece devido à vulnerabilidade de entrada no Parque, refletida em inúmeras trilhas de acesso, o que torna a fiscalização deficiente e facilita esta atividade predatória. A pressão de caça é um fator impactante sobre as populações de aves e mamíferos da região (IBAMA, 2003).

Para Santos (2008), a região dos Lençóis Maranhenses encontra-se na rota migratória de aves provenientes da América do Norte (maçaricos e batuíras). Entre as principais aves costeiras, comumente avistadas, tem-se: gaivotas, sabiás da praia, lavadeiras, caburés, dentre outras (Figura 16.1). Atrelada a esta importância, o IBAMA (2003) afirma que para contornar

os problemas na UC faz-se necessário a realização de um trabalho de educação ambiental com a população residente na área de influência deste.

O turismo proporciona novas relações para a população na interação com os visitantes, principalmente no fator econômico. Esta atividade nos Lençóis Maranhenses tem gerado conforme Santos (2008), uma especulação imobiliária na região do Parque e na área de amortecimento, com tendências de expansão turística e construção de casas de veraneio e complexos turísticos em zonas de criticidade ambiental constituídas por dunas, praias e restingas, com expropriação da população nativa. Assim, a ocupação humana ocorre de forma descontínua nas proximidades dos rios e das trilhas de acesso ao PNLM. Encontrando-se grandes e pequenas propriedades, predominando aquelas com área inferior a 10 ha e/ou em pequenos povoados, caracterizados por sua rusticidade e baixo aproveitamento potencial dos recursos naturais (IBAMA, 2003).



Figura 16.1 - Gaivotas sobrevoando lagoa interdunar no PNLM.
Fonte: Castro (2012).

As atividades humanas quando realizadas pelas comunidades tradicionais do PNLM não se configuram impactos ambientais de alta magnitude, visto que se constituem de práticas simples e rudimentares de subsistência. Porém, o que se salienta é a hipótese de expansão dos empreendimentos turísticos para a área da UC, o que ocasionaria mudança na realidade cultural local, bem como no seu ambiente (ARAUJO; SOUSA; FEITOSA, 2011).

CAPÍTULO 4

ARTIGOS A SEREM SUBMETIDOS A PERIÓDICOS

Foram produzidos dois artigos como resultados da dissertação e conseqüentemente serão submetidos a periódicos. Os artigos são intitulados como:

**4.1 – ANÁLISE MULTITEMPORAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES ENTRE 1984
A 2014 UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL.**

**4.2 – APLICAÇÃO DA ROTAÇÃO RADIOMÉTRICA CONTROLADA POR EIXO
DE NÃO MUDANÇA NOS LENÇÓIS MARANHENSES.**

4.1. ANÁLISE MULTITEMPORAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES ENTRE 1984 A 2014 UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL ¹

Thiago Diniz Araujo², Eliana Lima da Fonseca³

¹ Resultado da pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

² Mestrando em Sensoriamento Remoto, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Campus do Vale, Caixa-Postal 15001, CEP 91501-970. Porto Alegre - RS – Brasil. Autor correspondente. E-mail: tdinizaraujo@gmail.com

³ Doutora, Pesquisadora, Professora do Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: eliana.fonseca@ufrgs.br

RESUMO

A análise multitemporal possibilita comparar uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos, auxiliando no monitoramento das suas dinâmicas. O objetivo deste artigo foi analisar a dinâmica de caráter espaço-temporal do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, mapeando as mudanças do sistema dunário a partir de imagens de satélite, no período de 1984 a 2014. Para esta análise foram utilizadas imagens de satélite adquiridas pelos sensores TM-Landsat 5 e OLI-Landsat 8. A borda limite do parque, na parte interior do continente, foi vetorizada para o ano inicial e final da análise, gerando mapas com o deslocamento das dunas no período de 31 anos o que permitiu identificar as áreas de avanço e retração do sistema dunário. A área total de avanço das dunas foi de 23,69 km² enquanto que a retração apresentou 14,95 km². Identificou-se expansão das dunas do litoral em direção ao interior do continente no sentido nordeste - sudoeste, seguindo a circulação dos ventos alísios. Foram selecionados quatro pontos de observações onde foram monitoradas as mudanças na cobertura do solo a partir da variação anual dos valores de reflectância da superfície na banda do infravermelho próximo, permitindo identificar o tipo de mudança quanto o tempo de ocorrência das mesmas.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, migração de sedimentos.

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF LENÇÓIS MARANHENSES BETWEEN 1984 AND 2014 USING ORBITAL REMOTE SENSING.

ABSTRACT

The multi-temporal analysis allows comparing the same landscape between two or more time periods, assisting in the monitoring of its dynamics. The objective of this study were to analyze the spatio-temporal dynamics of the Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, mapping the changes in the dunes system using satellite imagery, from 1984 to 2014. For this analysis were used satellite images acquired by TM-Landsat 5 and OLI-Landsat 8 sensors. The park boundary, in the inner part of the continent, was vectored for the initial and final year of analysis, generating maps with the changes in the dunes locations in the 31 years period identified the forward areas and retraction and areas. The total area of advancement of dunes was 23.69 km² while the downturn area was 14.95 km². It was identified expansion of coastal dunes toward the interior of the continent towards northeast - southwest, following the movement of trade winds. Were selected four points of observations which were monitored changes in land cover from the annual change of the surface reflectance values in the near infrared band, allowing identify both the type of change and its time of occurrence.

Keywords: remote sensing, environmental monitoring, migration of sediment.

Introdução

O homem desenvolveu ferramentas capazes de auxiliar na análise da dinâmica da superfície terrestre, como o uso das imagens de satélite por meio do sensoriamento remoto, na perspectiva de se obter maior controle sobre o meio. Segundo Morain (1998), o surgimento do sensoriamento remoto proporcionou uma nova compreensão do ambiente, possibilitando se desenvolver estudos em diversas escalas geométricas e de tempo, nas mais diferentes regiões do planeta, sendo uma ferramenta que possibilita estudos em diferentes áreas do conhecimento, dentre as quais se destacam as geomorfológicas (HUGENHOLTZ et al., 2012; AYDDA; ALGOUTI, 2014), geológicas (MOHAMED; VERSTRAETEN, 2012), climatológicas (JANKE, 2002) e planejamentos socioambientais (SPARAVIGNA, 2013). Em estudos de cunho ambiental, a análise multitemporal a partir das imagens de sensores remotos consiste em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto histórico (TREBOSSSEN et al., 2005). A análise multitemporal utiliza imagens de satélite de determinada área em períodos distintos, não se restringindo a usar imagens de um mesmo sensor na coleta de informações (MOREIRA, 2011).

A comparação de imagens de satélite obtidas em diferentes épocas possibilita evidenciar as alterações nos fluxos de matéria e energia nas zonas costeiras, as quais estão

relacionadas aos processos energéticos, como a ação das ondas, das marés e da velocidade dos ventos, combinada com a disponibilidade de areia e da configuração geomorfológica (MEIRELES, 2014). As dunas são definidas como unidade geomorfológica de constituição predominantemente arenosa, com aparência de câmoros ou colinas, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação (resolução do CONAMA nº 303/2002). As dunas costeiras são influenciadas pela disponibilidade de sedimento inconsolidado, bem como pela intensidade de atuação e de duração do vento para remobilizar e transportar o sedimento do substrato, sendo que a existência de uma superfície plana também influencia na migração e formação das dunas (GOLDSMITH, 1978). Para uma eficaz forma de análise e manejo dos ecossistemas dunários é importante se compreender como este funciona e se desenvolve, na qual é necessário ordenar as ações humanas e planejar a construção de equipamentos e facilidades, de forma adequada, evitando efeitos negativos nos recursos naturais (ARAUJO; SOUSA; FEITOSA, 2011). A preservação desses ecossistemas é necessária, pois atuam na transição entre o ambiente marinho e o meio terrestre, proporcionando o equilíbrio dessas áreas (CARTER, 1988).

Muitos estudos sobre dunas utilizando dados de sensoriamento remoto orbital têm sido realizados em diversos países, como por Jacobberger (1989) no ambiente dunário de Bahariya, no Egito, de Tombouctou, em Mali e de Tsodilo, em Botsuana. Por Janke (2002) nas dunas do Parque Nacional Great Sand Dunes, no Colorado, Estados Unidos. E também por Amirahmadi, Aliabadi e Biongh (2014), nas dunas a sudoeste de Sabzevar, Irã. No Brasil são realizados trabalhos em várias regiões, como por Tomazelli et al. (2008) nos campos de dunas do litoral norte do Rio Grande do Sul. Por Meireles, Silva e Thiers (2006) na dinâmica das dunas do município de São Gonçalo do Amarante-CE. Por Meireles (2011) na área de proteção ambiental que compreende os campos de dunas móveis de Jericoacoara-CE. Por Amaro et al. (2014), no ambiente costeiro de Ponta Negra em Natal-RN. Assim como em Silva e Dourado (2012) com a análise histórica da migração das dunas do Perú, Cabo Frio-RJ, ambos subsidiando o planejamento ambiental.

Dentre os sistemas de depósitos eólicos da zona costeira brasileira, o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses se destaca em área e volume de material, apresentando um dinâmico e representativo sistema de campos de dunas. Possui um contingente considerável de comunidades que sobrevivem do turismo e das produções primárias de subsistência, por isso há a necessidade de se estudar e monitorar este ambiente. O objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica espaço-temporal da borda interna do Parque Nacional dos

Lençóis Maranhenses mapeando as mudanças do sistema dunário a partir de imagens de satélite, no período de 1984 a 2014. Os resultados deste trabalho contribuirão na visualização do processo de deslocamento das dunas em um período de 31 anos, imprescindível para o planejamento ambiental.

Sensoriamento remoto no monitoramento de ambientes dunários

Entre os satélites de média resolução, os satélites da série Landsat são o que fornecem maior cobertura regional, tendo assim uma atrativa relação custo/benefício, sendo fonte de informações para muitas aplicações ambientais, pois possuem boa qualidade geométrica e radiométrica, tornando-se então uma ferramenta ideal em programas de monitoramento da superfície terrestre (EHLERS, 2007). Esses satélites possuem faixa de imageamento de 185 km, altitude de 705 km com inclinação de 98,20° e ciclo orbital de 16 dias (NASA, 2014). As tabelas 1 e 2 apresentam características do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do LANDSAT-5 e dos sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) a bordo do LANDSAT-8.

Tabela 1 - Características do sensor TM

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL
TM (Thematic Mapper)	Azul	0.45 - 0.52 μm	30 m
	Verde	0.52 - 0.60 μm	30 m
	Vermelho	0.63 - 069 μm	30 m
	Infravermelho Próximo	0.76 - 0.90 μm	30m
	Infravermelho Médio	1.55 - 1.75 μm	30 m
	Infravermelho Termal	10.4 - 12.5 μm	120 m
	Infravermelho Médio	2.08 - 2.35 μm	30 m

Fonte: Adaptado da USGS (2013).

Tabela 2 - Características dos sensores OLI e TIRS

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL
OLI (Operational Land Imager)	Costal	0.433 - 0.453 μm	30 m
	Azul	0.450 - 0.515 μm	30 m
	Verde	0.525 - 0.600 μm	30 m
	Vermelho	0.630 - 0.680 μm	30 m
	Infravermelho Próximo	0.845 - 0.885 μm	30 m
	Infravermelho Médio	1.560 - 1.660 μm	30 m
	Infravermelho Médio	2.100 - 2.300 μm	30 m
	Pancromático	0.500 - 0.680 μm	15 m
	Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	LWIR – 1	10.30 - 11.30 μm	100 m
	LWIR – 2	11.50 - 12.50 μm	100 m

Fonte: Adaptado da USGS (2013).

Os sistemas de sensores remotos registram as informações espectrais nas diferentes faixas do espectro eletromagnético, favorecendo a identificação dos diversos alvos na superfície terrestre. Estes alvos possuem diferentes respostas espectrais, que podem ser alteradas com o tempo em decorrência de fatores externos ou próprias de sua natureza (NOVO, 2010). O comportamento espectral dos alvos pode ser apresentado por meio da reflectância, sendo que esta consiste na razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (irradiância), medidas no mesmo instante de tempo (MENESES, 2012). Os sensores detectam a radiância, convertendo essa grandeza em número digital. Para o cálculo da reflectância é necessário inicialmente calcular a radiância, a partir da relação linear entre o número digital e essa grandeza, considerando os parâmetros de calibração do sensor. Os valores da reflectância é a melhor forma de monitorar o comportamento de um objeto, em que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas às suas propriedades estruturais e materiais e não às mudanças no ângulo de iluminação solar (SHAW; BURKE, 2003).

O cálculo da reflectância (ρ) pode ser obtido de acordo com Allen, Tasumi e Trezza (2002), a partir da Equação 1.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (1)$$

Em que:

- $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda;
- $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$);
- Z é o ângulo zenital solar;
- dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

Conforme Iqbal (1983), o cálculo da dr é estabelecido em unidade astronômica (UA). Ela é apresentada na Equação 2.

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DJ2\pi}{365}\right) \quad (2)$$

Em que:

- DJ representa um dia Juliano do ano.

O ângulo zenital foi obtido conforme a Equação 3.

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (3)$$

Em que:

- E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho de cada imagem.

A refletividade da superfície terrestre quando extraídas dos satélites, pode ser apresentada a partir dos valores de reflectância aparente e reflectância de superfície. Para a obtenção da reflectância aparente não é necessário realizar as correções atmosféricas, resultando apenas da conversão dos números digitais de uma imagem em valores de reflectância. Já para a obtenção da reflectância de superfície é imprescindível aplicar as devidas correções atmosféricas, para se retirar a contribuição da atmosfera do valor de cada pixel, através da modelagem da interação da radiação eletromagnética com os gases atmosféricos radiativamente ativos (SLATER, 1980).

Aplicada em estudos com ecossistemas de dunas, a reflectância de superfície apresenta grande eficiência no monitoramento dos deslocamentos das areias, utilizando-se os comprimentos de onda do visível e principalmente do infravermelho próximo, pois é a que menos é afetada pelas distorções causadas pela atmosfera (LEVIN; BEN-DOR; KARNIELI,

2004). Parte significativa dos trabalhos com dunas está focada em métodos quantitativos, para determinar a direção, padrão morfológico e o deslocamento dos sedimentos, através das imagens de satélites (HUGENHOLTZ et al., 2012). As análises apresentam resultados positivos mesmo quando em áreas heterogêneas, com dunas de diferentes morfologias e presença de cobertura vegetal (MOHAMED; VERSTRAETEN, 2012).

Área de estudo

A área de estudo é o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM), que pertence à região nordeste do Brasil, litoral oriental do Estado do Maranhão, especificamente situado na Mesorregião Norte Maranhense e Microrregião dos Lençóis Maranhenses (IBGE, 2002). Tornou-se território de proteção ambiental por meio do Decreto Federal nº 86.060, de 02 de junho de 1981 (BRASIL, 1981). Apresenta extensa área que compreende 155.000 ha, abrangendo os municípios de Santo Amaro, Primeira Cruz e Barreirinhas, com coordenadas geográficas de 02° 19' S a 02° 45' S e 42° 44' W a 43° 29' W. Seu limite a norte é com o Oceano Atlântico, a sul com Santo Amaro e Barreirinhas, a leste com Paulino Neves, e a oeste com Primeira Cruz e Santo Amaro (IBAMA, 2003), apresentado na Figura 1.

Em virtude de sua natureza e extensão espacial, os Lençóis Maranhenses segundo Gonçalves et al. (2003), exibem o maior registro de sedimentação eólica do Quaternário encontrado na América do Sul. Estendem-se ao longo de aproximadamente 75 km do litoral maranhense e penetram o interior do continente por distâncias superiores a 20 km em alguns pontos (LEVIN et al., 2008). A planície costeira em que está inserido apresenta um relevo suave a moderadamente ondulado, no qual são comuns extensos campos de dunas móveis de diversas configurações, onde se destacam as seguintes entidades morfológicas: praias, lençóis de areia, pontais, cordões, terraços arenosos, planícies de deflação, inundação e maré, além dos diversos tipos de dunas (SANTOS; SANTOS, 2015).

O parque possui condições edáficas de solo arenoso, ventos, temperatura, salinidade, solo instável, insolação forte e direta. Características que favorecem a ocorrência e predomínio da vegetação de restinga, distribuída por toda sua área. As areias do PNLM possuem diâmetro médio da partícula de ocorrência mais frequente compreendido entre 0,177 a 0,125 mm e 0,354 a 0,250 mm, referente a areias finas e médias, respectivamente. Os sedimentos arenosos diminuem seu diâmetro à medida que se afastam da linha de costa, confirmando a significativa capacidade de transporte dos ventos alísios de NE na modelagem das feições morfológicas. (IBAMA, 2003).

A precipitação pluvial na região é caracterizada por valores máximos de fevereiro a maio, chovendo cerca de 90% do total anual e mínimos de agosto a dezembro, chovendo apenas 10% do total anual (MARANHÃO, 2003). Consequência da elevada umidade do ar e da variação das perturbações de correntes, a precipitação apresenta totais pluviométricos anuais que variam de 1.473 mm a 1.623 mm no PNLM (IBAMA, 2003). A hidrografia do parque é composta por rios, lagos, lagoas e lagoas, os quais são importantes no controle da movimentação eólica, que segundo Santos e Santos (2015) dificultam a migração das dunas sobre as paleodunas e sobre as planícies de deflação eólica sub atuais, situadas contiguamente à frente das dunas móveis.

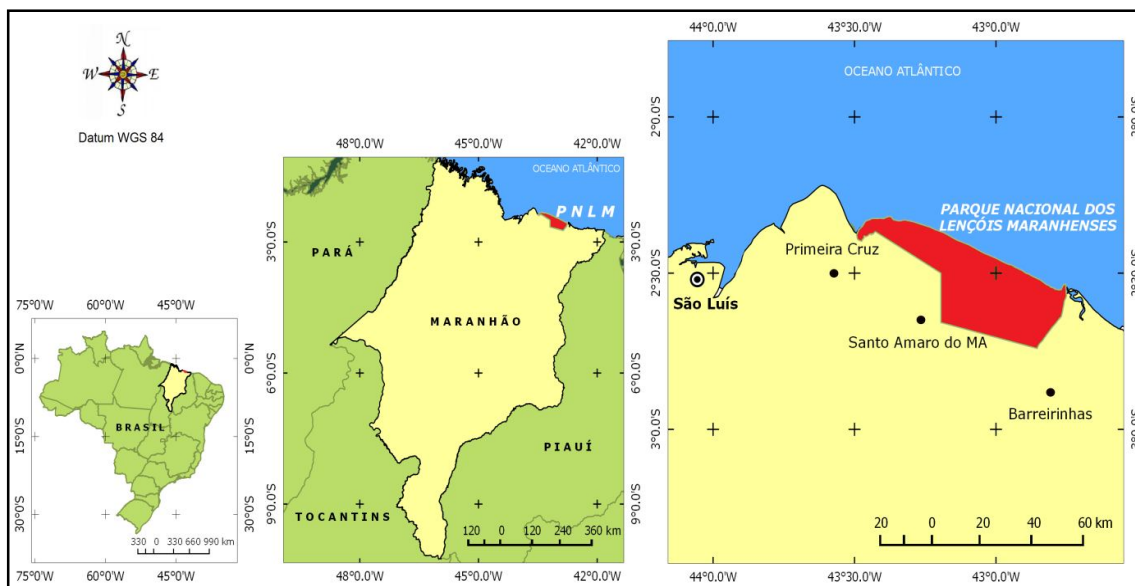


Figura 1 - Mapa de localização do PNLM.

Material e Métodos

A aquisição das imagens seguiu uma sazonalidade, uniformizando a escolha das datas analisadas para um mesmo período do ano e também para obtenção de uma menor cobertura de nuvens, visando a diminuição dos efeitos de diferença de iluminação da cena que podem influenciar na análise das imagens (JENSEN, 2009). Correspondem aos meses de estiagem pluviométrica da região ou aqueles mais próximos deste período, que geralmente se caracteriza de agosto a dezembro (MARANHÃO, 2003). Os produtos escolhidos têm como nível 1 de correção do sistema, fornecendo precisão radiométrica e geométrica (USGS, 2013). Foram adquiridas gratuitamente através do acervo da *United States Geological Survey*

(USGS), correspondendo a órbita 220, ponto 062, sendo adquirida uma imagem para cada ano analisado entre o período de 1984 e 2014. As primeiras vinte e oito imagens da série temporal foram adquiridas pelo sensor TM-LANDSAT 5 e as duas finais foram adquiridas pelo sensor OLI-LANDSAT 8. Não foi encontrada imagem para a área de estudo com as características previamente definidas para o ano de 2012. As imagens utilizadas possuem resolução radiométrica de 8 bits no LANDSAT-5 e de 16 bits disponibilizada pelo LANDSAT-8 (USGS, 2014). Através do software Qgis 2.2.0 Valmiera as imagens do sensor OLI foram convertidas 16 bits para 8 bits, padronizando todas as cenas em um mesmo nível de sensibilidade radiométrica. O interpolador vizinho mais próximo foi utilizado para reamostragem, evitando alteração dos valores dos níveis de cinza dos pixels.

Para se mensurar o deslocamento dunário na borda interna do PNLM utilizou-se o método de interpretação visual de imagens, seguindo-se as prerrogativas da análise da morfodinâmica. Segundo Meireles (2011), esta análise se constitui no sentido que as dunas se posicionam conforme o seu contorno morfológico, sendo possível identificar e medir as migrações dunárias. Consideram-se as distâncias entre as marcas que possuem formas de arcos, possíveis de ser identificadas na imagem de satélite (CARVALHO; MAIA; DOMINGUEZ, 2006). Para esse fim foi criado um banco de dados georreferenciados no software Spring 5.2.6, tendo como parâmetros geodésicos Datum WGS84 e projeção UTM fuso 23S, no qual foram integradas as imagens de satélite adquiridas no dia 20/06/1984 e 25/07/2014, que correspondem ao extremo da série temporal. Utilizou-se nas imagens a composição colorida RGB para as bandas com comprimentos de onda do infravermelho médio, infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente. De acordo com Rocha (2000) essa combinação mostra mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada.

Foram selecionados quatro pontos para análise anual da variação da reflectância de superfície, visando identificar o ano da ocorrência da mudança da cobertura do solo. Para a seleção dos pontos foi considerada a relevância dos mesmos para a região, como cidade próxima ao parque, lagoas de visitas turísticas e área de considerável circulação veicular até a zona praial. A identificação, posição e descrição do ponto encontram-se na Tabela 3. As coordenadas foram coletadas com o auxílio de um receptor GPS portátil. A realização da pesquisa de campo possibilitou o registro fotográfico dos pontos de observações apresentados na Figura 2, assim como na contribuição da percepção e descrição geomorfológica do ambiente.

O comportamento espectral dos pontos de observações foi avaliado pelos valores de reflectância de superfície da banda do infravermelho próximo, a qual entende-se que é a melhor faixa espectral para se obter a reflectância da areia de dunas (LEVIN; BEN-DOR; KARNIELI, 2004). A reflectância de superfície foi calculada a partir do software ENVI 4.7, a partir dos parâmetros de calibração de cada sensor. As correções atmosféricas foram feitas no módulo FLAASH, que conforme Perkins (2012) fornece algoritmos precisos para atenuar os efeitos da atmosfera nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo. Ele baseia-se em um modelo físico de transferência radiativa, o MODTRAN 4 (ITT, 2009), que neste trabalho empregou os modelos atmosférico Tropical e aerossol Marítimo, com valor inicial de visibilidade de 40 km. Devido à ausência de imagens do LANDSAT para a área de estudo em 2012, estimou-se a reflectância de superfície para este ano a partir de uma média aritmética dos resultados alcançados entre os anos de 2011 e 2013.



Figura 2: Áreas de observações no PNLM. (A - Santo Amaro; B - lagoa da Esperança; C - lagoa Azul; D - próximo ao Atins).

Tabela 3 – Pontos de observações no PNLM

PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	NOME
1	2° 30' 26.9" S / 43° 14' 12.7" W	Santo Amaro
2	2° 41' 15.5" S / 43° 2' 5.5" W	Lagoa da Esperança
3	2° 40' 0.3" S / 42° 51' 14.5" W	Lagoa Azul
4	2° 37' 6.24" S / 42° 45' 31.13" W	Próximo ao Atins

Resultados e Discussão

Cálculo da área total de deslocamento dunário

O sistema dunário apresentou entre o período de 31 anos analisados (1984 a 2014) comportamento tanto de avanço quanto de retração, em diferentes posições ao longo da borda interna. Houve um acréscimo de 23,69 km² na área do sistema dunário, enquanto que a retração apresentou uma área menor, com apenas 14,95 km². O posicionamento das alterações observadas estão apresentados na Figura 3.

Foi observado que o deslocamento das dunas foi advindo do litoral em direção ao interior do continente, no sentido nordeste - sudoeste, correspondendo à característica de circulação dos ventos alísios da região. Conforme o IBAMA (2003) a corrente de vento mais atuante no PNLM é o alísio de nordeste, seguido do de sudeste. Corroborando com o que foi observado, Santos e Silva (2009) no seu estudo sobre o PNLM, afirmam que os ventos alísios, juntamente com as temperaturas e o regime pluviométrico, encontram um solo sedimentar e moldam um relevo suavemente ondulado coberto por campos de dunas móveis cujas configurações acompanham o sentido dos ventos em altura que podem chegar a 30 m.

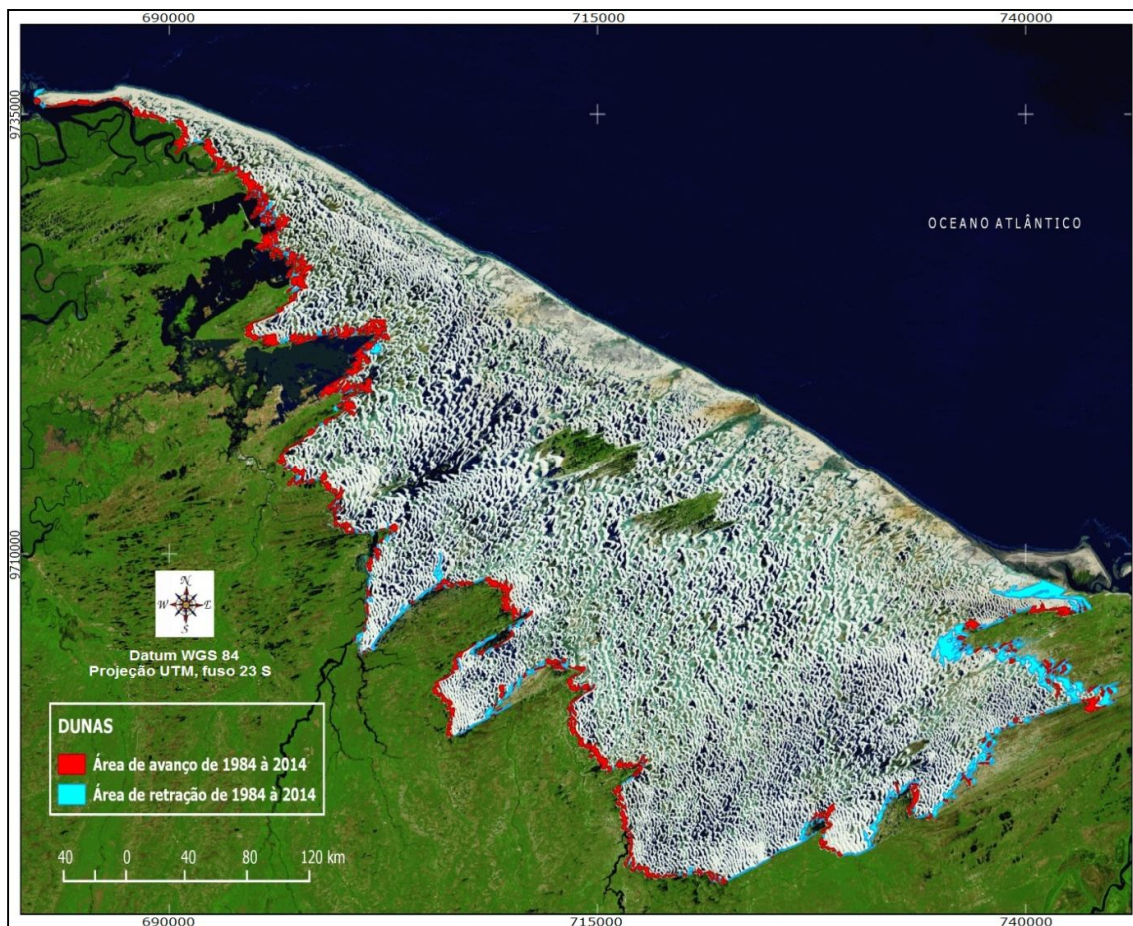


Figura 3: Imagem de 2014 e a representação das áreas que apresentaram avanço ou retração dunária em 31 anos.

Nos quatro pontos de observação foi verificado que houve o mesmo sentido de deslocamento das dunas como pode ser visualizados na Figura 4, que apresenta as linhas de vetores, representadas com cores distintas.

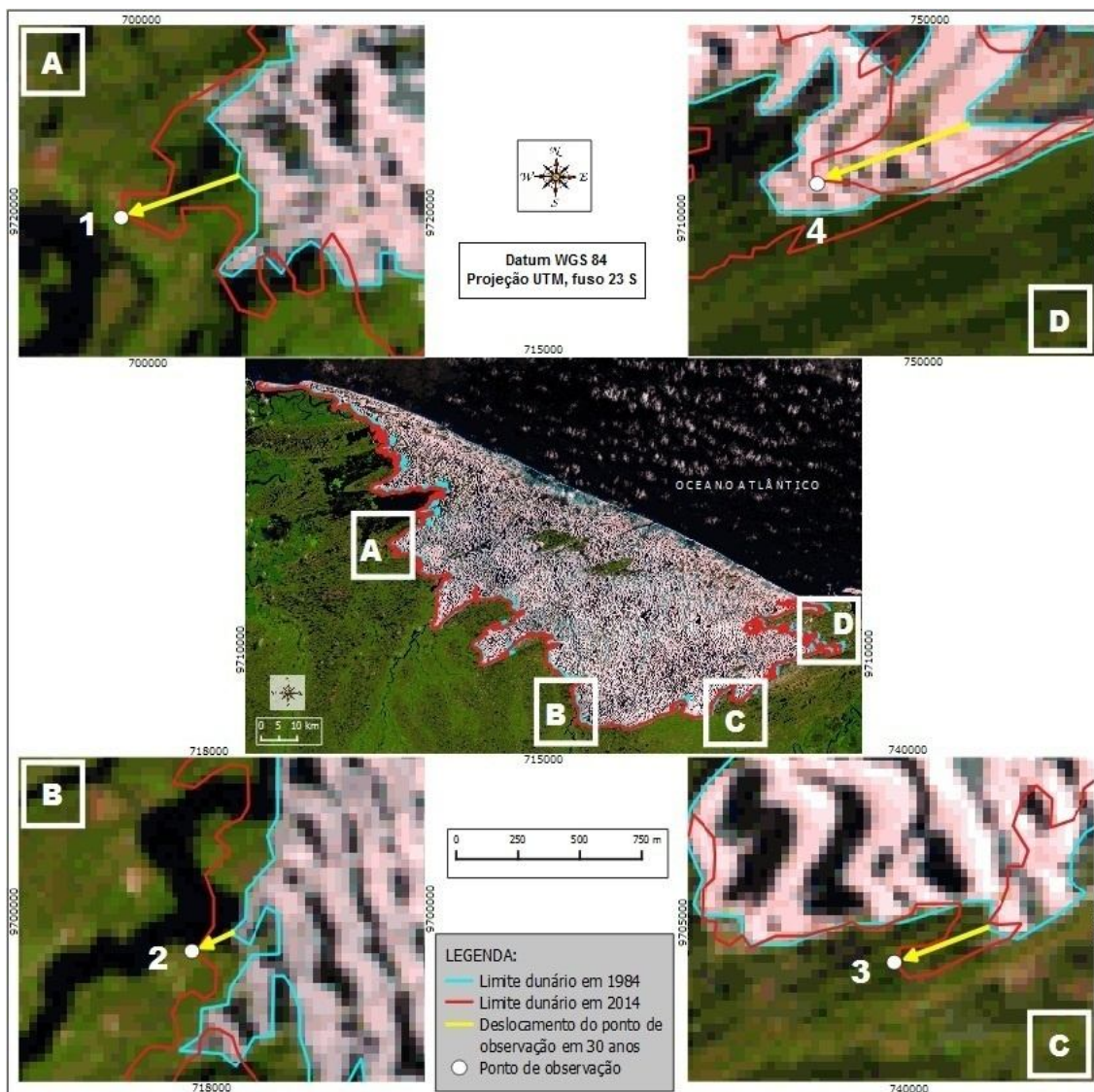


Figura 4: Imagem adquirida em 1984 e a representação vetorial do deslocamento dunário nos pontos de observações em 31 anos.

Foram feitas medições da variação linear do deslocamento de 4 pontos localizados sobre a linha vetorial do limite dunário em 2014 e a correspondente feição no ano de 1984. No ponto 1 observou-se um avanço dunário, com expansão de 487,3 m das dunas em direção à cidade de Santo Amaro. Verificou-se durante o trabalho de campo que esse avanço ainda não ocasiona transtornos significativos à população quanto a soterramento de casas. Trabalhos que estudam o avanço de dunas em direção às cidades são realizados com frequência para auxiliar no planejamento e prevenção de desastres às cidades, como em Meireles, Silva e Thiers (2006) que monitoraram o avanço das dunas em direção ao município de São Gonçalo do Amarante-CE, na qual as casas e as vias de acesso foram sistematicamente soterradas. Como também por Amirahmadi, Aliabadi e Biongh (2014) mensurando o avanço das dunas

sobre as casas e as áreas agricultáveis da aldeia Darbahang, a sudoeste de Sabzevar no Irã, que estavam prejudicando as atividades socioeconômicas da localidade.

No ponto 2 foi observada a menor variação entre os pontos monitorados, com avanço do sistema dunário de 160,6 m. Entende-se que esse pequeno avanço é devido a presença de um corpo hídrico volumoso, a lagoa da Esperança, que contribui para a redução da taxa de migração de areia. Meireles (2011) quando analisou a dinâmica do sistema dunário em Jericoacoara-CE, também percebeu que a sedimentação era reduzida próxima a corpos hídricos.

As dunas do ponto 3 apresentaram 408,7 m de avanço, na direção de áreas previamente ocupadas com vegetação de restinga, a qual ofereceu pouca resistência ao deslocamento dos grãos de areia. Esse mesmo comportamento foi constatado em Silva e Dourado (2012) ao monitorar o deslocamento das dunas do Perú, em Cabo Frio-RJ, comprovando que a presença de vegetação de menor porte, com características mais rasteiras, pouco inibem o deslocamento da frente de duna.

Já o ponto 4 apresentou 657,8 m de retração das dunas durante os 31 anos de observação. Entre os pontos observados, este é o que apresentou maior variação, por estar mais próximo ao litoral e apresentar menor número de obstáculos oferecidos pelo relevo. Amirahmadi, Aliabadi e Biongh (2014) em estudos sobre a evolução de dunas a sudoeste da cidade de Sabzevar no Irã, detectaram que o deslocamento dunário possui taxas mais elevadas quando existe pouco ou nenhum obstáculo que dificulte a circulação dos ventos, e Tomazelli et al. (2008) ao analisar os campos de dunas do litoral norte do Rio Grande do Sul, verificaram que os obstáculos topográficos naturais ou construídos podem reduzir a taxa de migração das dunas, dificultando a circulação do vento dominante sobre os corredores de alimentação, responsáveis pelo deslocamento dos sedimentos.

Apesar do total da área de avanço do sistema dunário ter sido maior que a área de recuo, foi na retração que o deslocamento morfológico teve mais expressividade, principalmente no ponto 4, pois as dunas desta porção estão na zona de entrada dos ventos alísios mais atuantes da região. Santos e Santos (2015) verificaram na sua análise que o setor sudeste do PNLM apresentou maior taxa de deslocamento das dunas, e também justificam esse padrão devido a menor distância em relação à área litorânea, a qual possui ventos mais fortes e constantes.

Análise temporal da variação dos valores de reflectância nos pontos de observações

A análise dos valores de reflectância de superfície dos pontos de observação em cada um dos 31 anos monitorados permitiu caracterizar o intervalo de valores que apresentaram os principais alvos analisados ao longo da série temporal. A vegetação na região do infravermelho próximo apresentou valores de reflectância da superfície entre 0,25 a 0,30. A vegetação de restinga, que de acordo com o IBAMA (2003), é o principal tipo de vegetação encontrada na área do parque, a qual é composta por comunidades herbáceas, esclerofilas arbustivas e/ou arbóreas. Normalmente a reflectância da vegetação apresenta valores mais elevados na região espectral do infravermelho próximo (REEVES; ANSON; LANDEN, 1975). No entanto, a vegetação campestre com predominância de espécies mais rasteiras possui um comportamento espectral sazonal, em que periodicamente as partes aéreas ficam secas, o que provoca a redução nos valores da reflectância (CARVALHO JÚNIOR et al., 2008). Essas condições também foram encontradas por Jacobberger (1989) nos ambientes dunários em Botsuana, na qual durante a estação seca, a vegetação rasteira apresentou baixa reflectância. As dunas apresentaram na região do infravermelho próximo um comportamento espectral com valores que variaram de 0,40 a 0,50 de reflectância de superfície. Jacobberger (1989) também encontrou valores similares de reflectância de superfície na área das dunas no Egito e em Mali, pois as áreas observadas apresentavam composições semelhantes de areia com solo quartzoso. Sabe-se que os solos mais arenosos tendem a ter maiores valores de reflectância no infravermelho próximo em comparação aos demais solos, devido sua constituição mineralógica, principalmente aqueles ricos em quartzo e com baixos teores de ferro (MADEIRA NETTO, 1993; RESENDE et al., 2005). Os valores da reflectância inferiores a 0,2 estão associados à água, sendo similares aos valores normalmente observados para esse tipo de alvo (JENSEN, 2009).

Na Figura 5 estão apresentados os valores de reflectância de superfície da banda do infravermelho próximo para os quatro pontos de observação em cada um dos 31 anos analisados. O ponto Santo Amaro apresentou valores crescentes de reflectância, indicando a ter ocorrido uma mudança gradual da cobertura do solo, passando da vegetação para areia. Essa é a zona de saída no limite oeste do PNLM e é um ambiente de considerável soterramento por sedimentos eólicos proveniente das dunas (CASTRO, 2004; SANTOS, 2008). Na Lagoa da Esperança, o comportamento espectral se manteve regular nos anos estudados, indicando a não ocorrência de mudanças na cobertura do solo, que conforme já discutido na análise da Figura 4, sendo o próprio corpo hídrico a razão dessa não mudança

observada. Na Lagoa Azul ocorreu um decréscimo dos valores de reflectância nos 31 anos de análise, com uma mudança brusca no ano de 2010, indicando que a área com inicial predomínio de dunas passou a ser ocupada por água. Próximo ao Atins foi observado maiores oscilações nos valores de reflectância, mais precisamente nos anos de 1985-1986, 1995-1996, 1998-1999. Essas alterações ocorrem em concomitância com os anos de influência de fenômenos como El Niño e La Niña, que podem ser observadas a partir da Tabela 4. O El Niño altera o padrão climático local ao favorecer o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical mais ao norte e por um maior intervalo de tempo, propiciando o aumento da estiagem pluviométrica na região (CARVALHO; MAIA; DOMINGUEZ, 2006). A ocorrência da La Niña aumenta a presença hídrica no ambiente dunário, pois segundo Carvalho, Maia e Dominguez (2006), o setor norte da região nordeste do Brasil em anos de La Niña apresenta chuvas acima da média local. A tendência é que os deslocamentos dunários sejam maiores quando houver menores índices pluviométricos, pois de acordo com Feitosa (2005), a ação do vento nos Lençóis Maranhenses é mais intensa durante o período seco, quando há deficiência hídrica local e as lagoas perdem parte de sua massa líquida pela evaporação e percolação, e o ar se mantém mais seco.

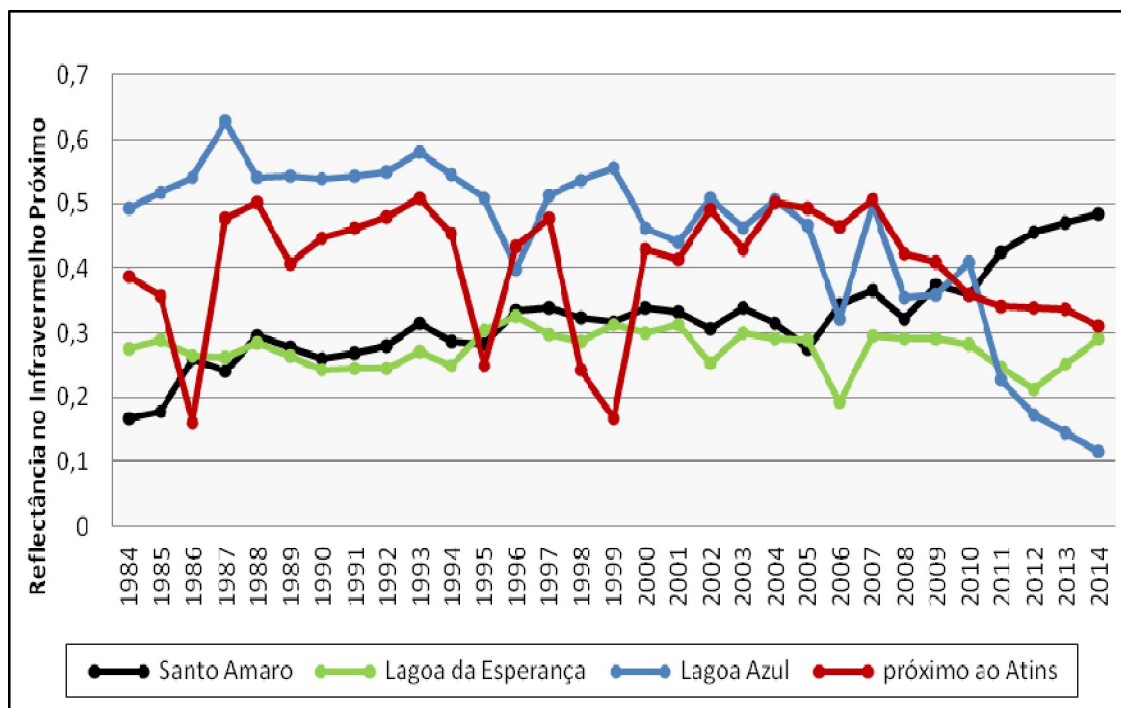


Figura 5: Variação multitemporal da reflectância na banda do infravermelho próximo entre 1984 e 2014 nos pontos de observações.

Tabela 4 – Períodos de ocorrência de El Niño e La Niña e sua intensidade no período analisado.

EL NIÑO		LA NIÑA	
1982 - 1983	Forte	1983 - 1984	Fraco
1986 - 1988	Moderado	1984 - 1985	Fraco
1990 - 1993	Forte	1988 - 1989	Forte
1994 - 1995	Moderado	1995 - 1996	Fraco
1997 - 1998	Forte	1998 - 2001	Moderado
2002 - 2003	Moderado	2007 - 2008	Forte
2004 - 2005	Fraco	–	–
2006 - 2007	Fraco	–	–
2009 - 2010	Fraco	–	–

Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE, 2015.

Estudo de caso: análise dos padrões de cobertura do solo na lagoa da Esperança

Na lagoa da Esperança foram comparados dois lugares próximos. O primeiro, denominado B1, é o local de base para a visitação turística na lagoa, na qual se estacionam os veículos automotores e tem como marco uma placa do órgão gestor do PNLM, que é o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Já o segundo local, denominado B2, se encontra distante aproximadamente 260 m no sentido norte da placa de referência do ponto inicial, sendo a localização dos pontos apresentadas na Figura 6 e a situação de cobertura do solo ilustrada na Figura 7.

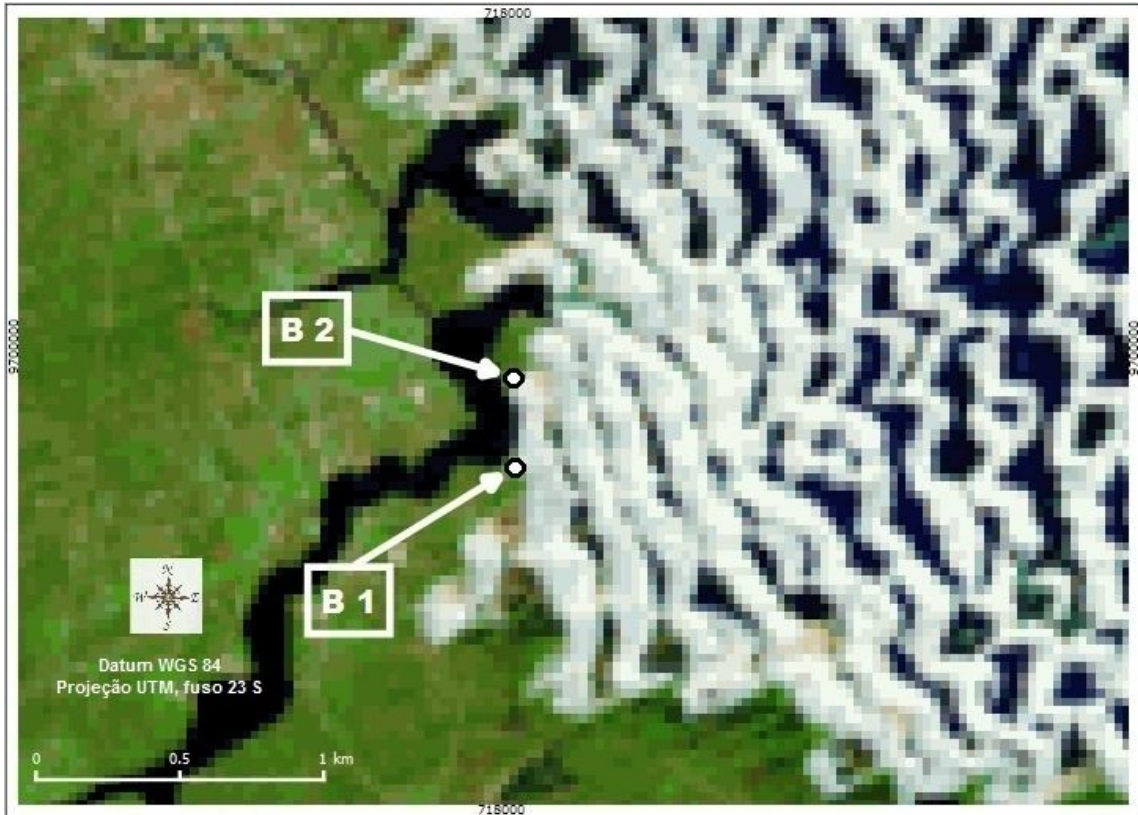


Figura 6: Posição dos pontos de observação B1 e B2 na lagoa da Esperança.



Figura 7: Perfil dos locais de observações B1 e B2 na lagoa da Esperança.

No gráfico da variação da reflectância da banda do infravermelho próximo apresentado na Figura 8 pode se observar que o ponto B1 apresentou uma regularidade quanto ao comportamento espectral, ocorrendo pequenas alterações nos anos observados, devido a preservação da vegetação durante este período. As causas para tanto, já previamente discutidas é a presença do corpo hídrico, o qual apresenta uma considerável recarga hídrica oriunda do Rio Negro. Para o ponto B2, ocorreu um acréscimo do valor de reflectância de forma gradativa no decorrer dos 31 anos de análise, em função do avanço das dunas em direção à lagoa da Esperança, soterrando parte da vegetação ciliar, como verificado durante o trabalho de campo e apresentado na Figura 7. Mesmo dificultadas pela presença dos vegetais, a tendência é que as dunas móveis do local B2 alcancem o ambiente lacustre, motivadas pela circulação dos ventos dominantes da região, os alísios de NE, que sopram na direção do corpo hídrico. Santos (2008) também constatou esta situação nas áreas próximas à lagoa da Esperança, em que quanto mais próximo da borda limite interna do parque, maior a taxa de migração das dunas, atrelado a uma série de fatores ambientais deste espaço. Esses diferentes padrões de estabilidade e de mudança da cobertura do solo em pontos muito próximos indicam o quão complexa é uma análise das mudanças internas dentro dos Lençóis Maranhenses. A distribuição espacial da vegetação, ora em conformidade com a direção de circulação dos ventos alísios de NE e ora não, influenciou para que o resultado fosse distinto nos pontos observados. Os vegetais são relevantes no processo de avanço ou recuo dos campos de dunas no PNLM, pois participam do processo diminuindo a taxa de migração dos sedimentos dunários, que conforme Santos e Santos (2015), contribuem ainda para que as taxas de migrações dunárias no PNLM possam variar de 4 m a 25 m ao ano.

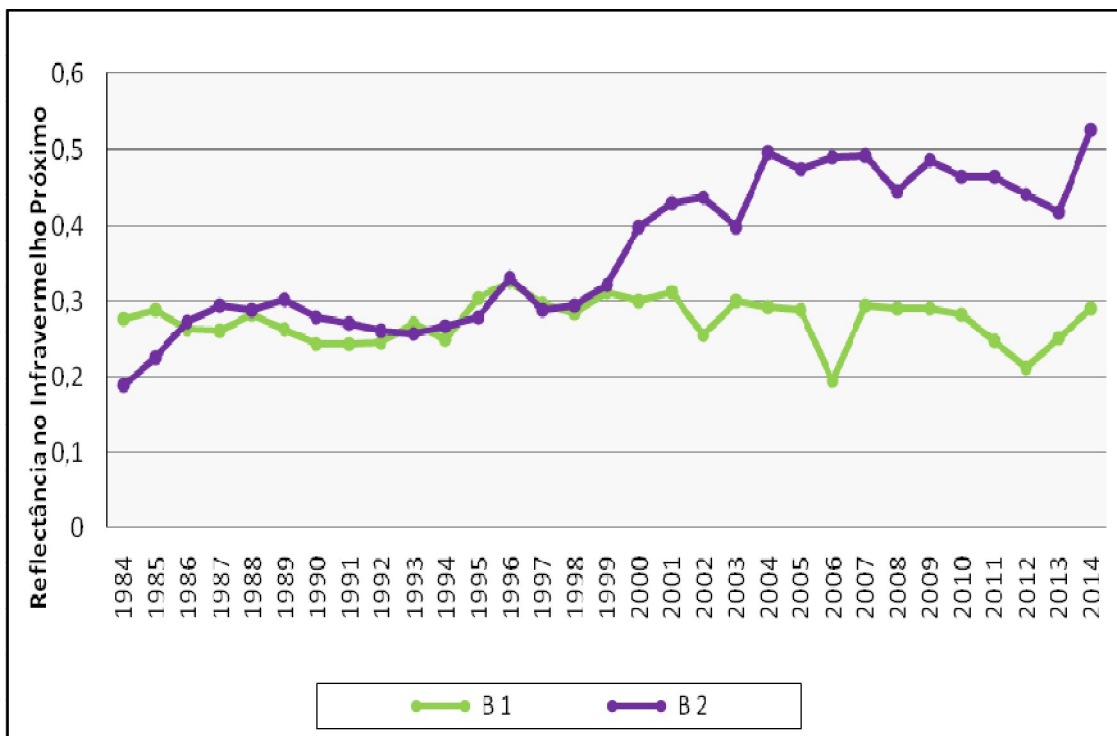


Figura 8: Comportamento espectral dos pontos de observações na lagoa da Esperança de 1984 a 2014.

Conclusão

A partir da análise das imagens de satélite selecionadas foi possível a visualização e a medição das áreas que apresentaram avanço e retração das dunas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, entre os anos de 1984 a 2014.

A vetorização da borda interna do PNLM viabilizou a identificação do sentido de deslocamento das dunas, que de forma contínua, expandiu-se do litoral em direção ao interior do continente seguindo a circulação dos ventos alísios da região.

A variação temporal dos valores de refletância de superfície permitiu identificar, a partir de uma série de imagens de satélite, quando ocorreram as mudanças na cobertura do solo ao longo do tempo em diferentes pontos do PNLM durante os 31 anos analisados.

As metodologias utilizadas neste trabalho é comprovadamente uma relevante ferramenta para o monitoramento das dunas do PNLM, contribuindo dessa maneira para o planejamento e manejo do parque.

Agradecimentos

Este artigo está vinculado à dissertação para a obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a partir do apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Os autores agradecem também ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pelo importante apoio na logística da realização da pesquisa de campo.

Referências

Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R. **SEBAL – Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advanced training and users manual**. Idaho: Implementation, 2002. v. 1, 98 p.

Amaro, V. E.; Gomes, L. R. S.; Lima, F. G. F.; Scudelari, A. C.; Neves, C. F.; Busman, D. V.; Santos, A. L. S. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. **Marine Geodesy**, 2014. v. 00, p. 01-25.

Amirahmadi, A.; Aliabadi, K.; Biongh, M. Evaluation of changes in sand dunes in Southwest of Sabzevar by Satellite Images. **International Journal of Scientific & Technology Research**, 2014. v. 3, i. 10, p. 120-128.

Araujo, T. D.; Sousa, J. B. C. de; Feitosa, A. C. Potencial turístico do município de Santo Amaro do Maranhão -Estado do Maranhão - Brasil. **Revista Geográfica da América Central**. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica, II Semestre, p. 1-14.

Aydda, A.; Algouti, A. Assessment of sand dunes movements rate in Atlantic Sahara desert using multitemporal landsat imagery and GIS technique. **Multidimensão e Territórios de Risco**. Guimarães: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014, c. 2, p. 100-105.

BRASIL. Decreto nº 86.060, de 02 de junho de 1981. Cria, no Estado do Maranhão, o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, com os limites que especifica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 4, n. 213, 04 jun. 1981. Seção 1, p. 10374.

_____. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 90, 13 mai. 2002. Seção 1, p. 69.

Carter, R. W. G. **Coastal environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines**. London: Academic Press, 1988. 499 p.

Carvalho, A. M.; Maia, L. P.; Dominguez, J. M. L. Caracterização do processo de migração das dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, costa noroeste do Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.1, p.44-52, 2006.

Carvalho Júnior O. A.; Coelho M. A. N.; Martins E. S.; Gomes R. A. T.; Couto Júnior A. F.; Oliveira S. N. & Santana O. A. Mapeamento da vegetação na Floresta Atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**, 2008. 26(3), p. 331 – 345.

Castro, J. W. A. Transporte eólico de sedimentos e migração de dunas sobre o promontório de Paracuru – litoral setentrional do nordeste brasileiro. **Boletim do Museu Nacional**, Nova Série, Geologia, Rio de Janeiro - RJ, 2004. n. 72, p. 1-10.

CPTC/INPE. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

Ehlers, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. Org. Blaschke, T. e Kux, H. 2ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007. p. 19 - 38.

Feitosa, A. C. Lençóis Maranhenses: Paisagem exótica – Deserto na mídia. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Departamento de Geografia - USP, 2005. Artigos, v. 1. p. 1 - 8. CD-ROM.

Goldsmith, V. Coastal dunes. **Coastal sedimentary environments**. In: Davis, R. A. (Editor). New York: Springer - Verlag, 1978. p. 171 – 235.

Gonçalves, R. A.; Lehueur, L. G. O.; Castro, J. W. A.; Pedroto, A. E. S. Classificação das Feições Eólicas dos Lençóis Maranhenses – Maranhão – Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza: UFC, 2003. v. 2, cap. 9, p. 99-112.

Hugenholtz, C. H.; Levin, N.; Barchyn, T. E.; Baddock, M. C. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. **Earth-Science Reviews**, 2012. v. 111, p. 319-334.

IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. São Luís, MA. 499p. 2003.

IBGE. **Malha municipal do Estado do Maranhão**. Resolução N° 05 de 10 de outubro de 2002.

Iqbal, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 212 p.

ITT Visual Information Solutions. Introduction to QUAC and FLAASH. **In: Atmospheric Correction Module User's Guide – ENVI 4.7**. IDL Assistant, 2009. cap. 1, 41 p.

Jacobberger, P. A. Reflectance characteristics and surface processes in stabilized dune environments. **Remote Sensing of Environment**, 1989, v. 28, p. 287-295.

Janke, J. R. An analysis of current stability of the dune fields at Great Sand Dunes National Monument using temporal TM imagery (1984-1998). **Remote Sensing of Environment**, 2002. v. 83, p. 488-497.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de Epiphânio, J. C. N. (coord.). 4 ed. São José dos Campos - SP: Parênteses, 2009. 598 p.

Levin, N.; Ben-Dor, E.; Karnieli, A. Topographic information of sand dunes as extracted from shading effects using Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, 2004. v. 90, p. 190-209.

Levin, N; Tsoar, H.; Maia, L. P.; Claudino-Sales, V.; Herrmann, H. Lagoas costeiras interdunares e branqueamento de dunas no Nordeste do Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza: UFC, 2008. v. 7, cap. 14, p. 143-166.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2^a Ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 850 p.

Madeira Netto, J. S. **Etude quantitative des relations constituants min ralogiques reflectance diffuse des latosols brésiliens. Application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM**. Paris: ORSTOM, 1993. v. 1. 236 p.

MARANHÃO. **Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. Fundação Sousem de Apoio e Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. /IICA/GEAGRO/LABOHIDRO. 242p. 2003.

Meireles, A. J. A. de. Geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/CE - BR. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza: UFC, 2011. v. 10, cap. 8, p. 169-190.

Meireles, A. J. A. **Geomorfologia costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 489 p.

Meireles, A. J. A.; Silva, E. V.; Thiers, P. R. L. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da Zona Costeira. **GEOUSP - Espaço e Tempo**. São Paulo: USP, 2006. Nº 20, p. 101 - 119.

Meneses, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In.: Meneses, P. R. e Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012, cap. 1, p. 01-33.

Mohamed, I. N. L.; Verstraeten, G. Analyzing dune dynamics at the dune-field scale based on multi-temporal analysis of Landsat-TM images. **Remote Sensing of Environment**, 2012. v. 119, p. 105-117.

Morain, S. A. A Brief History of Remote Sensing Applications, with Emphasis on Landsat. In: **People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science**. D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, and P. C. Stern, (Eds). National Academy Press, Washington, D.C. 1998. p 70-93.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422 p.

NASA. **The Landsat program.** Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>
Acesso em: 16 ago. 2014.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 4 ed. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2010. 388 p.

Overbeck, G. E.; Müller, S. C.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V. D.; Blanco, C. C.; Boldrini, I. I.; Both, R. & Forneck, E. D. Brazil's neglected biome: The *Campos*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics.** 2007. V. 9: I. 2. 101 - 116.

Perkins, T.; Adler-Golden, S. M.; Matthew, M. W.; Berk, A.; Bernstein, L.S.; Lee, J.; Fox, M. J. Speed and Accuracy Improvements in FLAASH Atmospheric Correction of Hyperspectral Imagery. **SPIE: Optical Engineering**, 2012. v. 51, n. 11, p. 01 - 07.

Reeves, R. G.; Anson, A.; Landen, D. **Manual of Remote Sensing.** Virginia: American Society of Photogrammetry Falls Church, 1975. v. 2, cap. 22, 2144 p.

Resende, M.; Curi, N.; Ker, J. C.; Rezende, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações.** Lavras: Editora UFLA, 2005. 192 p.

Rocha, C. H. B. 2000. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor. 220 p.

Santos, J. H. S. dos. **Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos: um tratamento espacial.** 2008. 248p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

Santos, J. H. S. dos; Silva, J. X. da. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa-MG: UFV, 2009. v.1. Artigos, p. 1-17. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo.pdf>. Acesso em: 06 out. 2014.

Santos, J. H. S.; Santos, N. F. B. The Lençóis Maranhenses: A Paradise of Dunes and Ponds. In: Vieira, B. C., Salgado, A. A. R and Santos, L. J. C.. (Org.). **Landscapes and Landforms of Brazil.** New York: Springer, 2015, v. 1, p. 79-90.

Shaw, G.; Burke, H. Spectral Imaging for Remote Sensing. **Lincoln Laboratory Journal**, 2003. v. 14, nº 1, p 3-28.

Silva, A. S. da; Dourado, F. Análise histórica da migração das dunas do Perú, Cabo Frio-RJ. **Geo UERJ.** Rio de Janeiro: UERJ, 2012. cap. 7, p. 437 - 458.

Slater, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems.** New York: Addison-Wesley, 1980. 515p.

Sparavinga, A. C. A study of moving sand dunes by means of satellite images. **International Journal of Sciences**, 2013. v. 2, p. 32-42.

Tomazelli, L. J., Dillenburg, S. R., Barboza, E. G., & Rosa, M. L. C. C. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. v. 35, cap. 2. p. 47 - 55.

Trebossen, H.; Deffontaines, B.; Classeau, N.; Kouame, J.; Rudant, J. P. Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. **Comptes Rendus Geosciences**, 2005. v. 337, cap. 13, p. 1140 – 1153.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat missions, specifications of the bands and sensors.** Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php> Acesso em: 14 dez. 2013.

_____. **Landsat 8, instruments and data products.** Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>> Acesso em: 18 nov. 2014.

_____. **Download Satellite images.** Earth Explorer. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 20 fev. 2015.

4.2. APLICAÇÃO DA ROTAÇÃO RADIOMÉTRICA CONTROLADA POR EIXO DE NÃO MUDANÇA NOS LENÇÓIS MARANHENSES ¹

Thiago Diniz Araujo², Eliana Lima da Fonseca³

¹ Resultado da pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

² Mestrando em Sensoriamento Remoto, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Campus do Vale, Caixa-Postal 15001, CEP 91501-970. Porto Alegre - RS – Brasil. Autor correspondente. E-mail: tdinizaraujo@gmail.com

³ Doutora, Pesquisadora, Professora do Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: eliana.fonseca@ufrgs.br

RESUMO

As dunas costeiras apresentam um intenso dinamismo, proporcionando modificações no ambiente de grande, média ou pequena magnitude. Atrelado a estas circunstâncias, torna-se imprescindível o seu monitoramento, que pode ser realizado a partir de técnicas de detecção de mudanças. A técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança possibilita a análise multitemporal de uma paisagem através do mesmo comportamento espectral das cenas adquiridas, sem a necessidade de correção dos efeitos atmosféricos. O objetivo deste artigo é avaliar a técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança para a identificação e monitoramento das alterações na área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, a partir das imagens de satélite correspondentes aos anos de 1992 e de 2008. Para esta análise, foram adquiridas imagens de satélite referentes ao Landsat 5 - Sensor TM para o período estudado. A borda interna limítrofe do parque foi delimitada como a área de interesse, em que foi aplicada uma abordagem prática para determinar o ângulo de rotação, que é o principal parâmetro para a obtenção da imagem de detecção. Foi possível a classificação das áreas de não mudança com 90,67%, as dunas com 5,20%, a vegetação com 3,86% e a água com 0,27% da área total. Identificou-se expansão das dunas, do litoral em direção ao interior do continente no sentido nordeste - sudoeste, seguindo a circulação dos ventos alísios, enquanto que a vegetação ocupou os espaçamentos deixados pelas dunas ou pela água das lagoas. Portanto a técnica foi eficaz ao traduzir as alterações na área analisada, em que monitorar o deslocamento dunário no parque é relevante para o planejamento ambiental, pois este representa um importante ecossistema da região, assim como um considerável polo turístico para o Brasil.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, migração dunária.

APPLICATION THE RADIOMETRIC ROTATION CONTROLLED BY NO CHANGE AXIS IN LENÇÓIS MARANHENSES

ABSTRACT

The coastal dunes have an intense dynamism, providing modifications to the environment in big, medium or small magnitude. Tied up in these circumstances it is essential to your monitor, which can be realized from change detection techniques. The technical radiometric rotation controlled by no change axis it enables multi-temporal analysis of a landscape through the same spectral behavior of the scenes acquired, without the need for correction of atmospheric effects. The aim of this paper was assess the technical radiometric rotation controlled by no change axis for identifying and monitoring changes in the Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, from satellite images for the years 1992 and 2008. For this analysis, were acquired satellite images for the Landsat 5 - TM Sensor for the period studied. The borderline inside edge of the park was defined as the area of interest it was applied in practical approach to determine the angle of rotation, which is the main parameter for obtaining a detection image. The classification of areas no change was possible with 90,67%, the dunes with 5,20%, the vegetation with 3,86% and the water with 0,27% of total area. Were identified expansions of the dunes, towards the northeast-southwest, following the circulation of trade winds, while the vegetation occupied the gaps left by the dunes or the water ponds. So the technique was effective in translating the changes in the measured area, where monitor dunário displacement in the park is relevant to the environmental planning, because this is an important ecosystem of the region, as well as a considerable tourist hub for Brazil.

Keywords: remote sensing, environmental monitoring, migration of the dunes.

Introdução

Os ambientes da zona costeira apresentam um intenso dinamismo, no qual estão em interface entre o continente e o oceano. As dunas desta zona são influenciadas por essa dinâmica, proporcionando modificações de grande, média ou pequena magnitude durante sua evolução espaço-temporal. Atrelado a estas circunstâncias, torna-se necessário monitorar estes acontecimentos, em que muitas atividades dos seres vivos são realizadas nas áreas litorâneas. No Brasil, Giannini et al. (2005), afirma que o litoral proporciona ao país inúmeros benefícios econômicos vinculados à fonte de renda e emprego para construção civil, gastronomia, lazer, pesca e outros. Dentre os ambientes que se destacam na zona costeira brasileira, está o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, que apresenta um dinâmico e representativo sistema de campos de dunas. Este parque influencia diretamente nas atividades de um contingente considerável de comunidades que sobrevivem do turismo e das produções primárias de subsistência.

Algumas técnicas de Sensoriamento Remoto se fundamentam segundo Maldonado, Martinelli e Carvalho (2004), no fato de que, tais transformações na paisagem terrestre, produzem, geralmente, alterações numéricas maiores do que aquelas geradas por outros fatores, que modificam a resposta espectral dos alvos nas imagens sensoriadas. Essas são as técnicas de detecção de mudança, que são definidas como o reconhecimento das alterações nos padrões característicos de determinado alvo nas imagens, num espaço de tempo (LU et al., 2004; SANTOS; MALDONADO; GRAÇA, 2004). A detecção de mudanças possibilita através da caracterização da superfície, uma melhor compreensão das interações entre os fenômenos naturais e as atividades humanas, com a perspectiva de melhor gerir e utilizar os recursos. Em geral, constatar as alterações envolve a aplicação de conjuntos de dados multitemporais para analisar quantitativamente os efeitos dessa interação (LU et al., 2004).

As aplicações das técnicas de detecção de mudança variam segundo Green, Kempka e Lackey (1994), de acordo com os objetivos a serem alcançados, sendo categorizadas em técnicas para tornar possível a detecção de transformações, para medir as mudanças, para atualização temática e espacial das mudanças. Assim, se destacam algumas técnicas, como a razão de imagens (SINGH, 1989), as imagens de diferenciação (MÁS, 1998; AMIRAHMADI; ALIABADI; BIONGH, 2014), a análise por componentes principais (MALDONADO; SANTOS; CARVALHO, 2002; JANKE, 2002), a análise de vetor de mudanças (LORENA; SANTOS; SHIMABUKURO, 2004), a comparação pós-classificação (LU et al., 2004; LIU et al., 2008) e os índices de vegetação (LUNETTA et al., 2006). Além destas, uma nova foi desenvolvida por Maldonado (2004) com a proposta de facilitar e tornar mais simples as análises, sendo ela a técnica de rotação radiométrica controlada por eixos de não mudança - RCEN.

A RCEN se baseia na comparação de duas imagens da mesma banda espectral de duas épocas distintas, com a vantagem de não ser necessário o uso de complexos métodos de calibração, correção da reflectância aparente ou correção atmosférica (MALDONADO; MARTINELLI; CARVALHO, 2004). Essa técnica minimiza os efeitos atmosféricos até diferenças entre sensores, utilizando a equação de diferença entre bandas com dois coeficientes em cada termo da diferença, relacionados a um parâmetro angular que caracteriza e minimiza as diferenças entre elas (MALDONADO, 2004). O principal parâmetro de seu funcionamento é o ângulo de rotação inferido da inclinação do eixo de não mudança (MALDONADO, 2004).

Estudos com a Técnica de Rotação Radiométrica por Eixo de Não Mudança estão em crescente utilização, sendo realizados por Santos, Maldonado e Graça (2005) nos municípios

de Sinop, Cláudia e Itaúba, em área sob domínio de floresta de transição da Amazônia na parte norte do Estado do Mato Grosso. Por Maldonado, Santos e Graça (2007), na cidade de Quixaba em Pernambuco, que fica na região semiárida do nordeste brasileiro. Por Maldonado et al. (2009) nas cidades de Ponta Porã, Amambaí e Paranhos, na região limítrofe do Brasil com o Paraguai no Estado do Mato Grosso do Sul. Em Arasato et al. (2012) nos municípios de Ubatuba, Caraguatatuba, São Luís do Paraitinga, Natividade da Serra, Lagoinha, Cunha e Parati, na região nordeste do estado de São Paulo. Como também em Frau et al. (2010), aplicando na região semi-árida da cidade de Maule, no Chile. Ambos utilizando imagens de satélite de média resolução para análises multitemporais.

O objetivo deste trabalho é avaliar a técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança para a identificação e monitoramento das alterações na área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, a partir de imagens do satélite Landsat 5 - TM correspondentes aos anos de 1992 e de 2008.

Técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança (RCEN)

A RCEN baseia-se na regressão linear radiométrica dos valores dos números digitais (ND) a partir de imagens com datas distintas de uma mesma banda espectral, utilizando-se amostras (*pixels*) de não mudança em áreas com mesmo tipo de cobertura nas datas analisadas (MALDONADO; SANTOS; GRAÇA, 2007). Para Maldonado, Santos e Graça (2007), o eixo de rotação radiométrica descreve a correlação entre os pixels de não mudança nas imagens da primeira (eixo “x”) e segunda data (eixo “y”), colocados em um espaço de atributos, obtendo-se assim, a reta de regressão dos pixels de não mudança através da equação 1.

$$Data2 = m . Data1 + Oi \quad (4)$$

Em que:

- Data 2 = valor radiométrico correspondente a não mudança na segunda data;
- Data 1 = valor radiométrico correspondente a não mudança na primeira data;
- m = coeficiente de inclinação da reta da regressão;
- Oi = ordenada da origem ou "interseção y".

O ângulo de rotação (α) é definido como o arco tangente do coeficiente de inclinação da reta de regressão linear dos pixels de não mudança identificados previamente no terreno. O ângulo do eixo de não mudança é expresso segundo Maldonado, Santos e Graça (2007) a partir da equação 2.

$$\alpha = \arctg(m) \quad (5)$$

Em que:

- α = ângulo de rotação;
- m = coeficiente de inclinação da reta de regressão.

O processo de rotação produz uma imagem detecção de mudança, que é gerada conforme Maldonado, Santos e Graça (2007) baseada num sistema de equações que compõe a rotação simples, como indicado na Equação 3.

$$I_{Detecção} = \cos(\alpha) \cdot I_{Data2} - \sin(\alpha) \cdot I_{Data1} \quad (3)$$

Em que:

- $I_{Detecção}$ = é a imagem rotacionada para cada par de bandas;
- I_{Data1} = é a imagem de valores radiométricos da primeira data;
- I_{Data2} = é a imagem de valores radiométricos da segunda data;
- α = ângulo de rotação;
- $\cos(\alpha)$ = co-seno do ângulo de rotação;
- $\sin(\alpha)$ = seno do ângulo de rotação.

Nas imagens de mesmo período, as mudanças ocorrem devido às transformações de uso da terra e não por efeito da sazonalidade, em que as modas das classes são também de não mudanças, permitindo selecionar pontos de similaridade nas mesmas formas dos histogramas (MALDONADO; MARTINELLI; CARVALHO, 2004). Por conseguinte, a forma dos histogramas é similar, podendo apresentar formas de sino com uma moda ou formas bimodais, quando há duas classes ocupando proporções similares da cena (MALDONADO, 2004). De acordo com Maldonado (2004), a abordagem prática da RCEN se baseia na obtenção dos valores dos picos das modas das classes, as quais são extraídas dos histogramas.

A RCEN apresenta resultados eficientes na detecção das alterações, pois é obtido pela tangente do coeficiente de regressão linear dos pixels de não mudança, aumentando sua eficiência com o conhecimento prévio do campo de pesquisa e seus respectivos pontos amostrais (SANTOS; MALDONADO; GRAÇA, 2005). Essa técnica dispensa a necessidade de correções radiométricas e atmosféricas, pois grande parte das diferenças de baixas frequências nos dados multitemporais está associada às diferenças atmosféricas no momento de passagem do satélite ou da calibração do sensor (JIAJU, 1988; CHAVEZ; MACKINNON, 1994).

Área de estudo

A área de estudo é o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM), que de acordo com o IBGE (2002) pertence à região nordeste do Brasil, litoral oriental do Estado do Maranhão, especificamente situado na Mesorregião Norte Maranhense e Microrregião dos Lençóis Maranhenses. Tornou-se território de proteção ambiental por meio do Decreto Federal nº 86.060, de 02 de junho de 1981 (BRASIL, 1981). Apresenta extensa área que compreende 155.000 ha, abrangendo os municípios de Santo Amaro, Primeira Cruz e Barreirinhas, com coordenadas geográficas de 02° 19' S a 02° 45' S e 42° 44' W a 43° 29' W. Seu limite a norte é com o Oceano Atlântico, a sul com Santo Amaro e Barreirinhas, a leste com Paulino Neves, e a oeste com Primeira Cruz e Santo Amaro (IBAMA, 2003), apresentado na Figura 1.

Em virtude de sua natureza e extensão espacial, os Lençóis Maranhenses segundo Gonçalves et al. (2003), exibem o maior registro de sedimentação eólica do Quaternário encontrado na América do Sul. Estendem-se ao longo de aproximadamente 75 km do litoral maranhense e penetram o interior do continente por distâncias superiores a 20 km em alguns pontos (LEVIN et al., 2008). A planície costeira em que está inserido apresenta um relevo suave a moderadamente ondulado, no qual são comuns extensos campos de dunas móveis de diversas configurações (SANTOS; SANTOS, 2015). Na referida área destacam-se as seguintes entidades morfológicas: praias, lençóis de areia, pontais, cordões, terraços arenosos, planícies de deflação, inundação e maré, além dos diversos tipos de dunas (SANTOS; SANTOS, 2015).

As areias do PNLM possuem diâmetro médio da partícula de ocorrência mais frequente compreendido entre 0,177 a 0,125 mm e 0,354 a 0,250 mm, referente a areias finas e médias, respectivamente. Os sedimentos arenosos diminuem seu diâmetro à medida que se afastam da linha de costa, confirmando a significativa capacidade de transporte dos ventos alísios de NE na modelagem das feições morfológicas (IBAMA, 2003). O ambiente do parque possui condições edáficas de solo arenoso, ventos, temperatura, salinidade, solo instável, insolação forte e direta. Características que favorecem a ocorrência e predomínio da vegetação de restinga, distribuída por toda sua área (IBAMA, 2003).

Consequência da umidade elevada do ar e da variação das perturbações de correntes, a precipitação apresenta totais pluviométricos anuais que variam de 1.473 mm a 1.623 mm no PNLM (IBAMA, 2003). O regime pluviométrico é caracterizado por máximas de fevereiro a

maio, chovendo cerca de 90% do total anual e mínimas de agosto a dezembro, chovendo apenas 10% do total anual (MARANHÃO, 2003).

A hidrografia do parque é composta por rios, lagos, lagoas e lagoas, os quais são importantes no controle da movimentação eólica, que segundo Santos e Santos (2015) dificultam a migração das dunas sobre as paleodunas e sobre as planícies de deflação eólica sub atuais, situadas contiguamente à frente das dunas móveis.

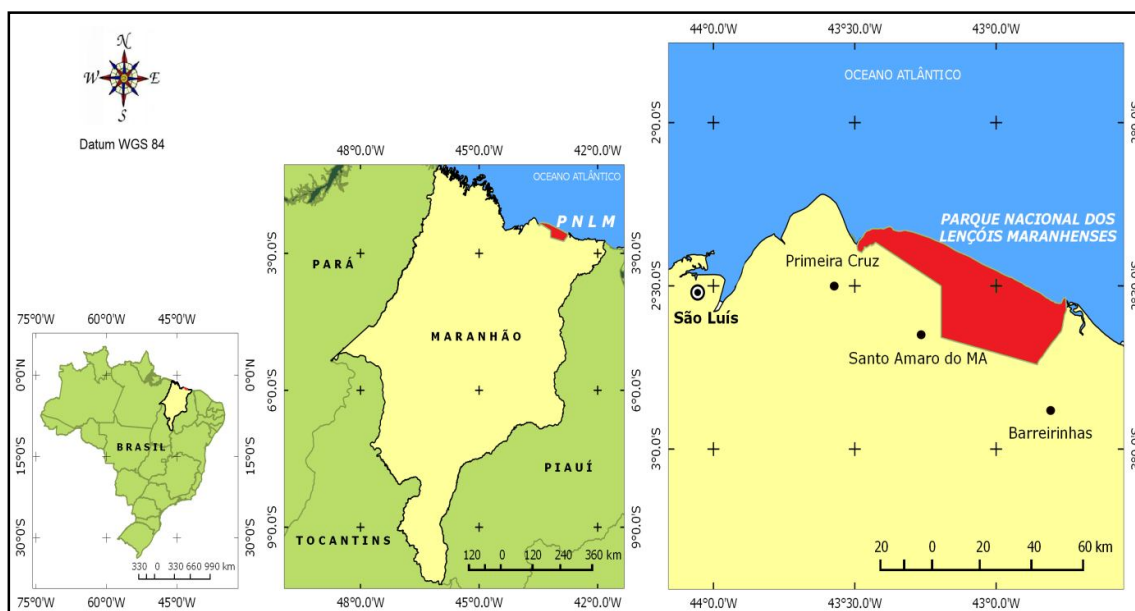


Figura 1: Mapa de localização do PNLM.

Material e Métodos

Seleção e aquisição das imagens

As imagens obtidas pertencem ao quinto satélite da série *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT-5), com resolução espacial de 30 m, uma altitude de 705 km, inclinação de 98,20° e ciclo orbital de 16 dias (NASA, 2014). Conforme a USGS (2014), estão disponíveis com resolução radiométrica de 8 bits, abrangendo uma área de 185 x 185 km da superfície (USGS, 2013), permitindo em uma cena apresentar toda a área de estudo. As imagens foram adquiridas gratuitamente através do acervo da *United States Geological Survey* (USGS), a partir da órbita 220 ponto 062. A primeira cena é do dia 21/08/1992 e a segunda do dia 10/09/2008, ambas disponibilizadas georreferenciadas.

A aquisição das imagens de satélite seguiu uma sazonalidade, uniformizando a escolha para um mesmo período do ano, com a perspectiva de obtenção de uma menor

cobertura de nuvens e diminuição dos efeitos causados por diferença de iluminação da cena. Os produtos escolhidos correspondem aos meses de estiagem pluviométrica da região, que se caracteriza do mês de agosto a dezembro (MARANHÃO, 2003).

As cenas foram inseridas em um banco de dados, no aplicativo Spring 5.2.7 e foram co-registradas. A de 2008 foi utilizada como referência para o procedimento, apresentando um RMS de 0,21. As imagens utilizadas estão no intervalo espectral de 0.76 - 0.90 μm , correspondente a banda do infravermelho próximo. De acordo com Rocha (2000), este intervalo apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia e vegetação.

Geração do mapa de detecção de mudança

Os parâmetros usados pela RCEN no cálculo do ângulo de rotação foram definidos a partir do diagrama de dispersão. Para sua obtenção, selecionou-se aleatoriamente na área leste, sul e oeste do PNLN, um total de 30 pontos, referentes às dunas, a vegetação e a água. Destes, foram escolhidos os que não apresentassem mudanças significativas nas duas datas, extraindo-se o valor de DN do pixel de cada ponto. São correlacionados os dados da primeira e segunda imagem representados sobre a linha de tendência denominada “eixo de não mudança”, em que passa pelas modas (picos) das classes. Ainda que as mudanças na cena sejam numerosas, a forma das curvas em geral permite encontrar tais picos que representam a distribuição gaussiana de cada uma das classes mais abundantes da cena (MALDONADO et al., 2009). A partir do ângulo de rotação radiométrica, a RCEN introduz dois coeficientes angulares em cada termo da diferença (Equação 3), permitindo gerar a imagem detecção a partir de uma listagem de código, desenvolvida em Maldonado et al. (2009).

A imagem detecção foi gerada para toda a área do PNLN. O mapa de detecção de mudança foi produzido apenas para a região de interesse, sendo esta a borda limítrofe continental do campo de dunas. Realizou-se um fatiamento da imagem detecção para a definição das classes, baseado no conhecimento dos pontos amostrais de mudança e não mudança da área analisada. Arasato et al. (2012) afirma que a partir do conhecimento prévio da área de estudo e das características espectrais das classes de uso e cobertura da terra presentes na cena, se estabelece os limiares para a identificação dos pixels em classes de mudança e não mudança. Assim, as áreas que sofreram alterações de cobertura no PNLN foram identificadas em classes: dunas, vegetação e água. E a classe que não sofreu alterações foi identificada como não mudança.

Etapa de campo

A realização da etapa de campo possibilitou o registro fotográfico da área de estudo, visualizando a borda limítrofe continental do campo de dunas e da sua zona de entorno, que contribuíram para a descrição geomorfológica do ambiente. Santos, Maldonado e Graça (2005), afirmam que o conhecimento *in loco* da área investigada, reforça a confiabilidade interpretativa da imagem de detecção gerada pela técnica RCEN, quanto às categorias temáticas de mudanças e não mudanças identificadas.

Resultados e discussões

As imagens de 1992 e de 2008 apresentaram no intervalo espectral correspondente à banda do infravermelho próximo, histogramas com forma correlata, permitindo a aplicação da abordagem prática da RCEN. Maldonado et al. (2009) ao aplicar a RCEN na região limítrofe do Brasil com o Paraguai, no Estado do Mato Grosso do Sul, também encontrou histogramas com formato similares, permitindo o uso desta técnica para alcançar a imagem detecção de mudança. Dessa forma, os histogramas extraídos da área do PNLN podem ser observados a partir da Figura 2.

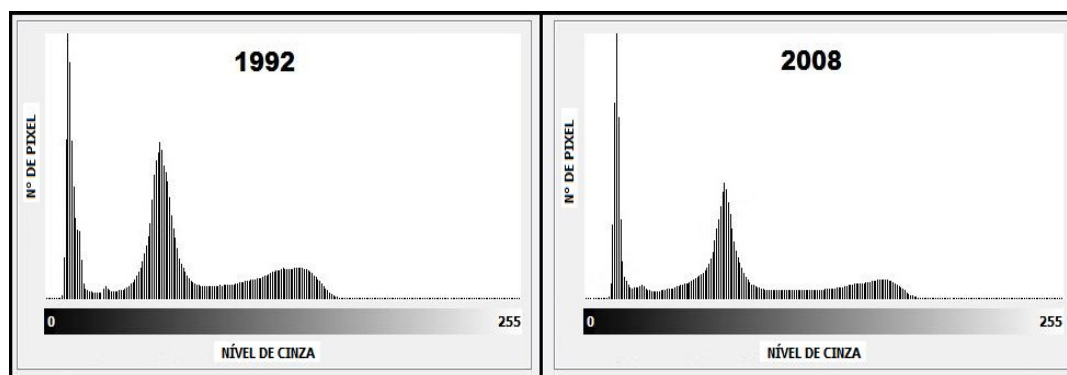


Figura 2: Janelas dos histogramas da banda do Infravermelho próximo de 1992 e de 2008 no software SPRING.

Os picos de valores dos histogramas das duas datas possibilitaram a identificação do tipo de cobertura do solo através de suas classes e modas correspondentes, sendo que a primeira classe representa a água, a segunda classe representa a vegetação e a terceira classe representa as dunas. Os valores dessas modas foram, respectivamente, 24, 63 e 143 na primeira data e 28, 79 e 157 na segunda data, sendo ilustrado a partir do diagrama de dispersão da Figura 3.

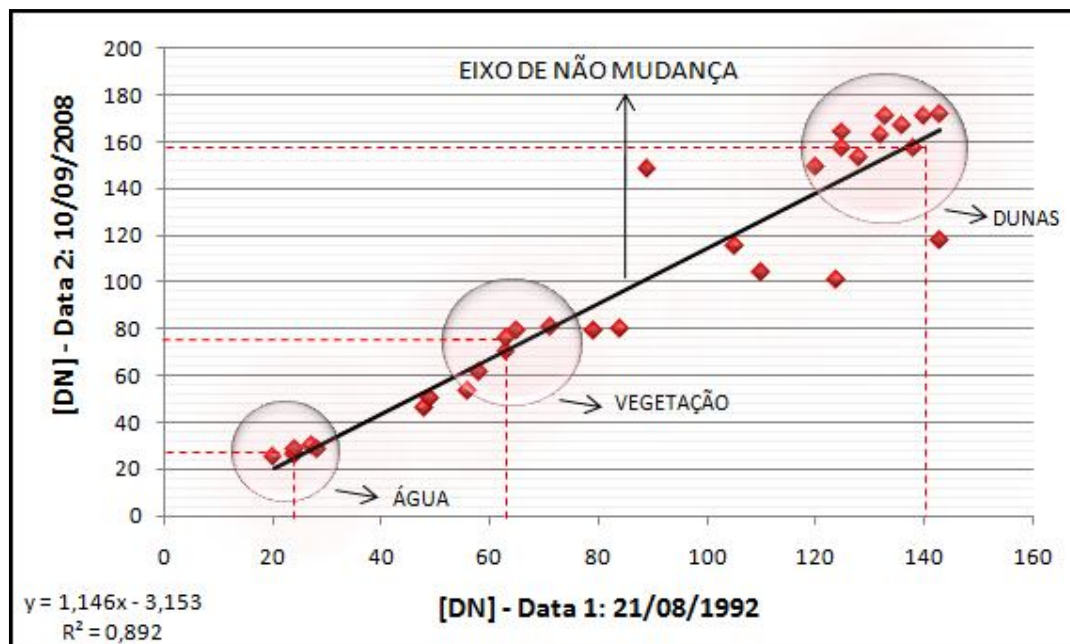


Figura 3: Diagrama de dispersão da banda do infravermelho próximo para os anos de 1992 e 2008.

O valor calculado para o ângulo de rotação do eixo de não mudança foi de $48^{\circ} 40'$. Esse valor foi encontrado devido à similaridade do período de aquisição das imagens e do sensor utilizado para o imageamento, sofrendo irrisória interferência atmosférica. Ratificando, Santos, Maldonado e Graça (2005) registram que ao se utilizar a técnica RCEN com imagens de mesmo sensor, obtidas em condições de imageamento similares, o ângulo do eixo deve estar próximo de 45° . Dessa maneira, Maldonado et al. (2009) afirma que quanto maior a diferença entre as intensidades dos efeitos atmosféricos nas datas dos imageamentos, o ângulo apresentará um distanciamento maior da marca de 45° para minimizar estas diferenças.

A imagem de detecção de mudança por ser um produto oriundo de cenas multitemporais, apresenta além do ângulo de não mudança, outros parâmetros relevantes para a execução da rotação radiométrica. Esses parâmetros foram obtidos a partir de um polinômio de 1° grau, sendo eles identificados como coeficiente de inclinação da reta de regressão (m), que apresentou um resultado de 1,146. A ordenada da origem de interseção (oi) resultou em -3,154 e o R^2 , com um valor de 0,892. Além de dois coeficientes angulares, sendo o seno no valor de 0,753 e o cosseno no valor de 0,657. A partir desse conjunto de dados foi produzida a imagem detecção, que pode ser visualizada a partir da Figura 4 juntamente com suas cenas originárias.

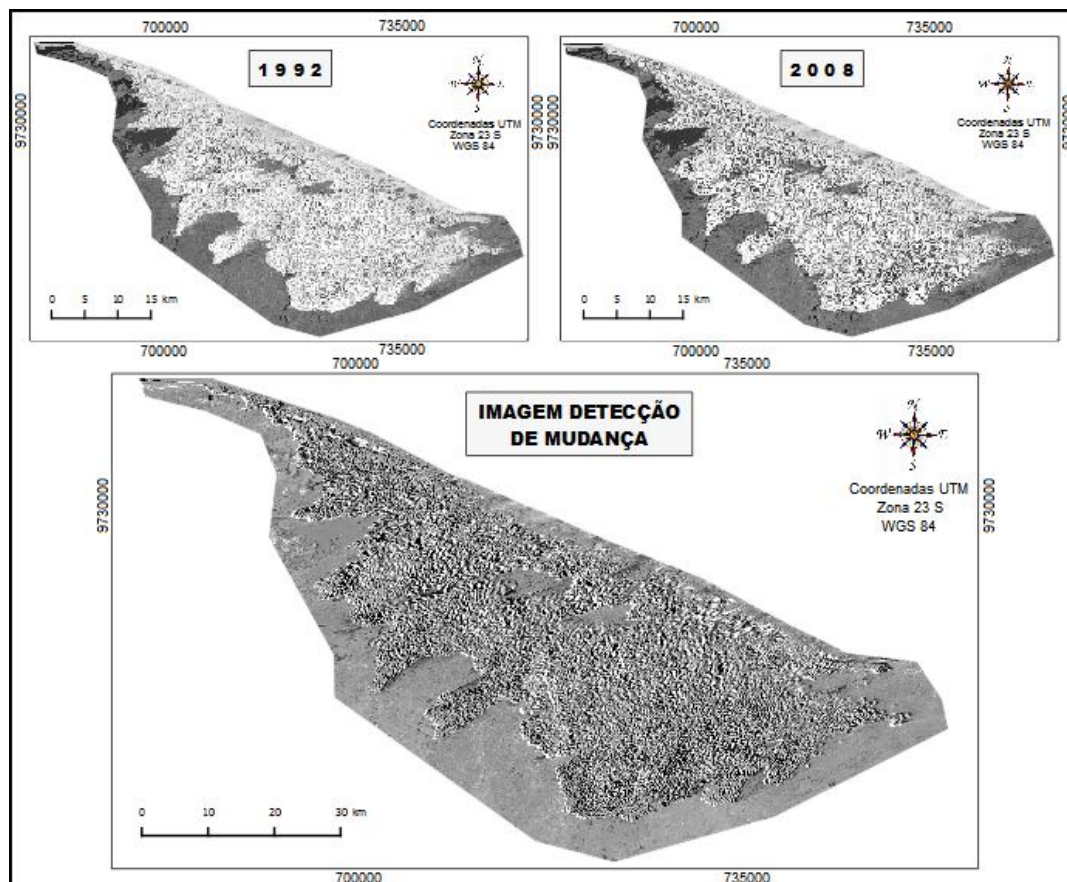


Figura 4: Cenas de 1992 e 2008 respectivamente, produzindo a imagem detecção.

A imagem detecção de mudança apresentou tons de cinza variando do mais claro ao mais escuro em toda a área do PNLM. Na área externa do campo de dunas, observou-se a predominância de tons médios correspondentes a não mudança, principalmente por parte da vegetação e dos corpos hídricos presentes nesta região. Já na área interna do campo de dunas, existe uma forte variação dos níveis de cinza, desde o mais claro que representa as dunas até os mais escuros, que simboliza a vegetação inicialmente, até alcançar os níveis mais altos que representa a água. Valores semelhantes foram observados por Hugenholtz et al. (2012) ao comparar técnicas para análise espacial de dunas a partir de imagens multitemporais, detectando que as dunas possuíam elevado DN, enquanto que a vegetação apresentava valor de DN mais baixo. As tonalidades claras que possuem valores de DN altos correspondem à perda da cobertura vegetal ou de água e são observadas sem uma forma padrão, denotando às variadas características morfológicas dos tipos de dunas. Nas áreas com tonalidades de médio a escuro e valores de DN intermediários, tem-se um ganho de cobertura vegetal. Assim como resquícios de mata ciliar próximos dos corpos hídricos, que por ventura, a água é a que apresenta a tonalidade mais escura e os DN mais baixos na imagem detecção de mudança.

Para melhor visualização das alterações na borda limítrofe do PNLM na parte continental, foram atribuídas cores as classes: dunas, vegetação, água e não mudança, gerando um mapa final de detecção de mudança. Este mapa está ilustrado na Figura 5.

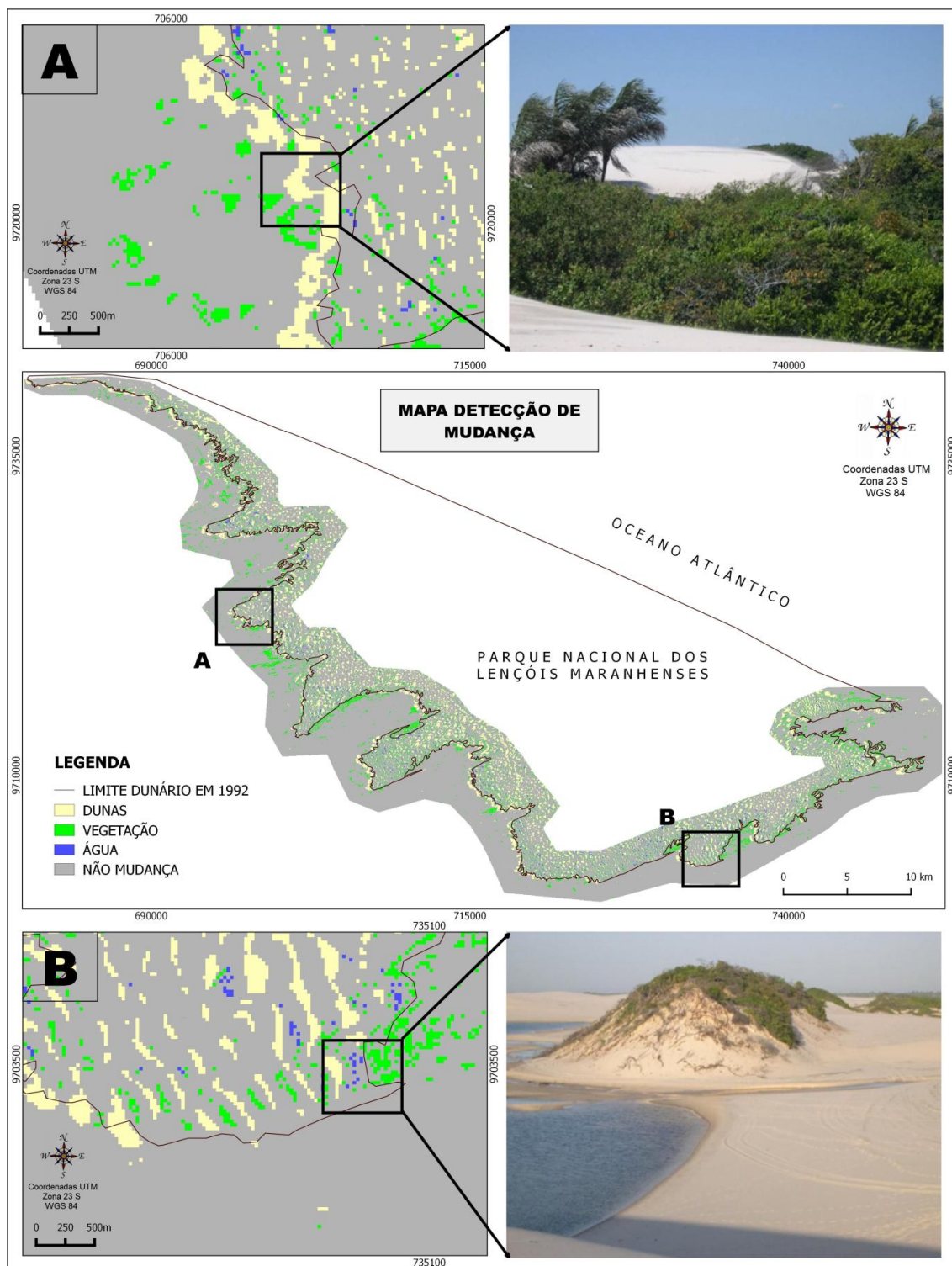


Figura 5: Mapa final de detecção de mudança.

As classes foram representadas por colorações distintas, em que a de não mudança está apresentada pelo cinza, as dunas pelo amarelo, a vegetação pelo verde e a água pelo azul. A área analisada foi de 3221,84 km², em que a classe não mudança foi a mais representativa com 2921,26 km², simbolizando 90,67% do total. A classe dunas apresentou 167,53 km², sendo 5,20% da área, seguida da classe vegetação que alcançou 124,36 km², significando 3,86% do total. Já a classe água foi a que apresentou o menor valor, com apenas 8,69 km², sendo 0,27% da área analisada. No geral, a não mudança foi superior às classes que sofreram alterações, que somadas retrataram apenas 9,33% da totalidade, em que dunas e vegetação apresentaram valores aproximados de transformações. O mapeamento gerado por esta metodologia foi avaliado quanto a sua exatidão pela análise estatística Kappa (Congalton; Green, 1999). O valor obtido foi de 0,86, validado a partir do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (2002), significando que o resultado alcançado está no patamar excelente. Segundo Maldonado (2004), o coeficiente Kappa situa-se tipicamente entre 0 e 1, onde 1 indica o completo acordo, e quando multiplicado por 100, dá a porcentagem da medida de exatidão da classificação. Para esta classificação no PNLM, o valor obtido foi de 86% de confiabilidade.

Através da técnica foi possível identificar que na parte sudeste do PNLM ocorreu grande deslocamento dunário em direção ao interior do continente, sendo visualizado a partir da Figura 5. Esta área é segundo Santos e Santos (2015) a que apresenta maior taxa de deslocamento das dunas, devido, a menor distância em relação à área litorânea, de ventos mais fortes e constantes. Assim como também se identificou que na borda limítrofe do PNLM na parte continental, ocorreu uma significativa alteração do tipo de cobertura da superfície. As principais foram relacionadas à vegetação e às dunas, em que os sedimentos dunários tiveram influência dos ventos alísios mais atuantes na região e proporcionaram um deslocamento no sentido nordeste - sudoeste. Conforme o IBAMA (2003) a corrente de vento mais atuante no PNLM é o alísio de nordeste, seguido do de sudeste. A partir da Figura 6 é possível observar o deslocamento dos sedimentos dunários em direção aos vegetais, que em sua grande maioria são os mais atingidos por esse processo seguido do soterramento de pequenos corpos hídricos. Em contrapartida, os vegetais se estabelecem nos locais deixados pelas dunas ao se deslocarem ou no espaço deixado pela água das lagoas, sendo explicitados a partir da Figura 7. De acordo com Castro (2012), no período mais seco, uma vegetação mais rasteira vai crescendo entre as dunas, brotando no esvaziamento das lagoas. O período mais seco na região dos Lençóis Maranhenses ocorre geralmente de agosto a dezembro (MARANHÃO, 2003).



Figura 6: Sedimentos dunários se deslocando em direção da vegetação.



Figura 7: Vegetação estabelecendo-se no espaçamento de uma lagoa, pela ausência de água.

Adentrando o campo de dunas e se afastando da borda limítrofe continental do PNLN, alguns locais poderiam apresentar confusão dos DN entre vegetação e o espaçamento deixado pela perda de água das lagoas, devido à similaridade dos seus valores. Nesta parte mais central do parque é praticamente inexistente a presença de vegetação de restingas, exceto nas áreas de duas pequenas comunidades. Segundo Santos e Santos (2015), na área central do campo de dunas móveis existem duas ilhas de vegetação, uma denominada de Baixa Grande e a outra de Queimada dos Britos, possuindo uma mata de restinga muito antiga. Confusões de DN referentes à vegetação são comuns quando utilizada a RCEN, em que para a confiabilidade da análise é de fundamental importância o conhecimento prévio da área de estudo, para se obter uma verdade de campo. Ainda mais em áreas de grande dinâmica, como afirmam Araujo, Sousa e Feitosa (2011), que para uma eficaz forma de análise e manejo dos ecossistemas dunários é importante se compreender como este funciona e se desenvolve. Maldonado, Santos e Graça (2007), também constataram que ao analisar a perda de cobertura vegetal classificada como degradação no semi-árido brasileiro, a técnica confundia desmatamento ou queimadas com os espaços no solo ocasionados pela perda de massa líquida, porém em pequenas áreas, não afetando no resultado final. Assim como em Santos, Maldonado e Graça (2005), que analisando a cobertura vegetal na Amazônia, detectaram que a degradação e a não mudança apresentavam confusões em encosta de mata pouco iluminada, que tinha sido queimada e possuía superfície do solo coberta de cinza e carvão, sendo reduzido esse conflito quando aplicada na banda do infravermelho próximo. Apenas na região de interesse desta análise no PNLN, os DN não criaram confusão quanto às classes dunas, vegetação, água e não mudança, apresentando as reais configurações da paisagem no intervalo de tempo estudado.

A RCEN é uma relevante ferramenta para o monitoramento das áreas de proteção ambiental, principalmente das suas zonas fronteiriças, como a área apresentada a partir da Figura 8 que recebe grande visitação turística no PNLN. Geralmente estas zonas limítrofes são mais propícias a receberem interferências que dificultam o equilíbrio ambiental. Corroborando, Santos, Maldonado e Graça (2005) afirmam que as principais alterações detectadas pela RCEN ao analisar uma floresta de transição na Amazônia, ocorreram da zona limítrofe para a área externa da Unidade de Conservação, salientando que essas unidades são fundamentais para a proteção da biodiversidade e controle da própria paisagem.



Figura 8: Borda interna limítrofe do campo de dunas no PNLM.

Quando comparada a outras técnicas de detecção de mudanças, a RCEN diferencia-se por ser eficiente ao apresentar resultados a partir de inteligíveis procedimentos metodológicos, obtendo-se diagnósticos ambientais em um curto intervalo de tempo. Ela não necessita de métodos de calibração e correção dos efeitos causados pela atmosfera terrestre, em que Janke (2002) ao analisar as dunas do Parque Nacional Great Sand Dunes, no Colorado-Estados Unidos, necessitou de tais correções para obter uma classificação adequada dos elementos do parque, utilizando a técnica da análise das componentes principais em imagens Landsat TM de 1984 e 1998. O mesmo procedimento realizado por Liu et al. (2008) ao monitorar as areias de Otindag Sandy Land, no sudeste da Mongólia, através de imagens Landsat TM de 1987 e CBERS com sensor CCD de 2006. Para terem resultados bem sucedidos, Liu et al. (2008) normalizaram os dados radiométricos das imagens para a realização da análise das componentes principais, seguida da classificação supervisionada e da pós-classificação. Como também Amirahmadi, Aliabadi e Biongh (2014), ao estudarem no período de 2006 a 2013 as dunas a sudoeste de Sabzevar, no Iran, em que foi necessária a realização de procedimentos para fusão de imagens do satélite IRS com resolução espacial de 23,5 m e do radiômetro PNA com resolução espacial de 2,5 m. Assim como a correção dos erros radiométricos e atmosféricos para se alcançarem os cabíveis resultados de mudanças na superfície, produzidas a partir da técnica Imagens de diferenciação (AMIRAHMADI;

ALIABADI; BIONGH, 2014). Ambas as técnicas obtiveram resultados satisfatórios, porém com maior tempo de execução devido ao maior número de procedimentos metodológicos que a RCEN.

Conclusão

A RCEN se caracteriza por uma técnica que apresenta resultados positivos quanto à detecção de mudanças em áreas com cobertura da superfície distintas em que as variações dos níveis de cinza ocorrem de forma linear. E não em áreas com superfícies homogêneas, que apresentam mudanças apenas quanto à morfologia, como por exemplo, as mudanças ocorridas nos tipos e formas das dunas. Assim, a técnica apresentou relevantes alterações ocorridas na zona limítrofe interna do campo de dunas do PNLN no período de 1992 a 2008.

A imagem de detecção gerada pela RCEN traduziu de acordo com a verdade de campo os valores dos pixels conforme as classes dunas, vegetação, água e não mudança para a região de interesse analisada. A partir da técnica foi possível a identificação do sentido de deslocamento das dunas, que de forma contínua, expandiu-se do litoral em direção ao interior do continente seguindo a circulação dos ventos alísios da região. Resultados relevantes para o monitoramento dunário e planejamento ambiental do PNLN, em que este representa um importante ecossistema para a região, assim como um considerável polo turístico para o Brasil.

Agradecimentos

Este artigo está vinculado à dissertação para a obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a partir do apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Os autores agradecem também ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pelo importante apoio na logística da realização da pesquisa de campo.

Referências

- Amirahmadi, A.; Aliabadi, K.; Biongh, M. Evaluation of changes in sand dunes in Southwest of Sabzevar by Satellite Images. **International Journal of Scientific & Technology Research**, 2014. v. 3, i. 10, p. 120-128.
- Arasato, L. S.; Santos, J. R.; Maldonado, F. D.; Amaral, S.; Rennó, C. D. Detecção de mudança na paisagem a partir de análise multissensor e multitemporal em associação com variáveis geomorfométricas no domínio da Floresta Atlântica. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2012. v. 4, n. 64, p. 475-486.
- Araujo, T. D.; Sousa, J. B. C. de; Feitosa, A. C. Potencial turístico do município de Santo Amaro do Maranhão -Estado do Maranhão - Brasil. **Revista Geográfica da América Central**. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica, II Semestre, p. 1-14.
- BRASIL. Decreto nº 86.060, de 02 de junho de 1981. Cria, no Estado do Maranhão, o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, com os limites que especifica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 4, n. 213, 04 jun. 1981. Seção 1, p. 10374.
- Castro, C. E. **A política nacional de proteção da natureza e seus desdobramentos no território do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. 2012. 255 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente. 2012.
- Chavez, P. S.; Mackinnon, D. J. Automatic detection of vegetation changes in Southwestern United States using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 5, p. 571-583, 1994.
- Congalton, R. G.; Green, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practice. **Mapping sciences series**. New York: CRC Press Inc., 98 pp. 1999.
- Frau, C. M.; Santos, J. R.; Maldonado, F. D.; Valenzuela, J. G.; Valeriano, M. M.; Rojas, Y. O.; Hernández, Y. M. Caracterización y monitoreo de paisaje semiárido en la region Del Maule mediante datos satelitales. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande: UAEA/UFCG - Agriambi, 2010. v. 14, n. 6. p. 660-668.
- Giannini, P. C. F.; Assine, M. L.; Barbosa, L. M.; Barreto, A. M. F.; Carvalho, A. M.; Claudino-Sales, V.; Maia, L. P.; Martinho, C. T.; Peulvast, J. P.; Sawakuchi, A. O. & Tomazelli, L. J. Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. In: Souza, C. R. G; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. (Eds.) **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. cap. 11, p. 235-257.
- Gonçalves, R. A.; Lehugeur, L. G. O.; Castro, J. W. A.; Pedroto, A. E. S. Classificação das Feições Eólicas dos Lençóis Maranhenses – Maranhão – Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza: UFC, 2003. cap. 9, p. 99-112.
- Green, K.; Kempka, D.; Lackey, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 1994. v. 60, n. 3, p. 265-271.

Hugenholtz, C. H.; Levin, N.; Barchyn, T. E.; Baddock, M. C. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. **Earth-Science Reviews**, 2012. v. 111, p. 319-334.

IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. São Luís, MA. 499 p. 2003.

IBGE. **Malha municipal do Estado do Maranhão**. Resolução N° 05 de 10 de outubro de 2002.

Janke, J. R. An analysis of current stability of the dune fields at Great Sand Dunes National Monument using temporal TM imagery (1984-1998). **Remote Sensing of Environment**, 2002. v. 83, p. 488-497.

Jiaju, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 1895-1907, 1988.

Levin, N.; Tsoar, H.; Maia, L. P.; Claudino-Sales, V.; Herrmann, H. Lagoas costeiras interdunares e branqueamento de dunas no Nordeste do Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza: UFC, 2008. v. 7, cap. 14, p. 143-166.

Liu, H.; Zhou, C.; Cheng, W.; Long, E.; Li, R. Monitoring Sandy Desertification of Otindag Sandy Land based on Multi-data Remote Sensing Images. **Acta Ecologica Sinica**, 2008. v. 28, n. 2, p. 627-635.

Lorena, R. B.; Santos, J. R.; Shimabukuro, Y. E. Técnica de detecção de mudanças aplicada em imagens de satélite como ferramenta de monitoramento de uso e cobertura da terra na Amazônia Ocidental (Acre). **Espaço e Geografia (UnB)**, Brasília, 2004. v. 7, n. 1, p. 47-76.

Lu, D.; Mausel, P.; Brondízio, E.; Moran, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 2004. v. 25, n. 12, p. 2365-2407.

Lunetta, R. L.; Knight, F. K.; Ediriwickrema, J.; Lyon, J. G.; Worthy, L. D. Landcover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, n. 2, p. 142-154, 2006.

Maldonado, F. D.; Santos, J. R.; Carvalho, V. C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 5005-5013, 2002.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. 2004. 328 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos, 2004.

Maldonado, F. D.; Martinelli, M.; Carvalho, V. C. Innovaciones y mejoramientos de las técnicas de detección de cambios en la cobertura vegetal en regiones semi-áridas. In: Disperati, A. A.; Santos, J. R. (eds). **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba: Copiadora Gabardo Ltda, 2004. cap. 1, pp. 61-69.

Maldonado, F. D.; Santos, J. R.; Graça, P. M. L. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape. **International Journal of Remote Sensing**. Bristol: Taylor & Francis Inc., 2007. v. 28, n. 8, p. 1789-1804.

Maldonado, F. D.; Sestini, M. F.; Valles, G. F.; Santos, C. P. F. Detecção de mudanças com técnica de Rotação Radiométrica, RCEN, inovações para uma abordagem prática usando SPRING. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos-SP: INPE, 2009. p. 1433-1440. Disponível em: <<http://martem.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.09.16.46/doc/1433-1440.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2014.

MARANHÃO. **Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. Fundação Sôsândrade de Apoio e Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. /IICA/GEAGRO/LABOHIDRO. 242 p. 2003.

_____. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. Embrapa Monitoramento por Satélite. 2002. Disponível em: <<http://www.zee.ma.gov.br/>>. Acesso em: 08 set. 2015.

Más, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. v. 20, n. 1, p. 139 - 152, 1998.

NASA. **The Landsat program**. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em: 16 ago. de 2014.

Rocha, C. H. B. 2000. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor. 220 p.

Santos, J. H. S.; Santos, N. F. B. The Lençóis Maranhenses: A Paradise of Dunes and Ponds. In: Vieira, B. C., Salgado, A. A. R and Santos, L. J. C.. (Org.). **Landscapes and Landforms of Brazil**. 01ed. New York: Springer, 2015, v. 1, p. 79-90.

Santos, J. R.; Maldonado, F. D.; Graça, P. M. L. A. Imagem CBERS: uma nova ferramenta para subsidiar estudos de mapeamento e monitoramento ambiental. In: Disperati, A. A.; Santos, J. R. (eds). **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba: Copiadora Gabardo Ltda., 2004. n. 1, p. 128-137.

Santos, J. R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L. Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 57, n. 1, p. 15 - 21, 2005.

Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat missions, specifications of the bands and sensors**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php> Acesso em: 14 dez. 2013.

_____. **Landsat 8, instruments and data products.** Disponível em:
<<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>> Acesso em: 18 nov. 2014.

_____. **Download Satellite images.** Earth Explorer. Disponível em:
<http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 20 fev. 2015.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das imagens do satélite Landsat utilizadas, foi possível a visualização e a medição das áreas que apresentaram avanço e retração das dunas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, através da análise visual dos contornos geomorfológicos. Assim como pela técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não mudança, que detectou relevantes alterações ocorridas na superfície da zona limítrofe continental do campo de dunas do parque.

Os dados produzidos a partir da análise multitemporal permitiram a identificação do sentido de deslocamento das dunas e, por conseguinte a confecção de mapas apresentando o resultado deste processo. De forma contínua, as dunas maranhenses expandiram-se do litoral em direção ao interior do continente seguindo a circulação dos ventos alísios predominantes na região.

Os gráficos de refletância traduziram o comportamento espectral dos pontos observados no PNLN conforme a verdade de campo, em que a resposta espectral dos alvos é um dos parâmetros utilizados para se detectar as mudanças ocorridas em um ambiente. Esse resultado foi confirmado pela técnica RCEN, na qual o mapa de detecção gerado traduziu de acordo com a verdade de campo os valores dos pixels conforme as classes dunas, vegetação, água e não mudança.

A análise visual e a técnica RCEN apresentaram resultados positivos em ambientes dunários, obtendo-os de forma rápida, com a utilização de poucos procedimentos metodológicos e confiáveis. A RCEN detecta mudanças em áreas com cobertura distintas na superfície em que as variações dos níveis de cinza ocorrem de forma linear, e não em áreas com superfícies homogêneas, que apresentam alterações apenas quanto à morfologia dos tipos e formas das dunas. Por ventura, estas mudanças morfológicas já podem ser identificadas a partir da análise visual dos contornos geomorfológicos.

Monitorar as mudanças causadas pelas migrações das dunas auxilia no processo de planejamento e proteção ambiental do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, pois este além de apresentar reservas estratégicas de sedimentos, água, entre outros materiais, desempenha relações socioeconômicas e sustentáveis de suas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL – Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advanced training and users manual**. Idaho: Implementation, 2002. v. 1, 98 p.

ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P. Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do rio Japarutuba – Sergipe, através de imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos - SP: INPE, 2009. p. 1231 - 1238.

ARAUJO, T. D.; SOUSA, J. B. C. dos; FEITOSA, A. C. Potencial turístico do município de Santo Amaro do Maranhão -Estado do Maranhão - Brasil. **Revista Geográfica da América Central**. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica, II Semestre, p. 1-14.

BARROSO, J. A. Os ventos e a formação de dunas. **Informativo sobre Bacias Hidrográficas da região oceânica**. Niterói: CCRON-Niterói/RJ, 2010. Artigo 10. 4p. Disponível em: <<http://www.ccron.org.br/images/file/artigos%20josue/ARTIGO%2010.pdf>>. Acesso em 23 abr. 2015.

BRASIL. Decreto nº 86.060, de 02 de junho de 1981. Cria, no Estado do Maranhão, o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, com os limites que especifica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 4, n. 213, 04 jun. 1981. Seção 1, p. 10374.

_____. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 90, 13 mai. 2002. Seção 1, p. 69.

CARVALHO JÚNIOR O. A.; COELHO M. A. N.; MARTINS E. S.; GOMES R. A. T.; COUTO JÚNIOR A. F.; OLIVEIRA S. N.; SANTANA O. A. Mapeamento da vegetação na Floresta Atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**, 2008. v. 26, cap. 3, p. 331 – 345.

CASTRO, C. E. **A política nacional de proteção da natureza e seus desdobramentos no território do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. 2012. 255 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente. 2012.

CASTRO, J. W. A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru - Ceará**. 2001. 200 f. Tese (Doutorado). IGEO/PPGG. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980. 2 ed., 188 p.

CPTC/INPE. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

CUNHA, E. F.; GRAÇA, P. M. L. A.; MALDONADO, F. D. Estudo da dinâmica da cobertura/uso da Terra sob a influência da BR-319 (trecho Manaus-Careiro Castanho) a partir de dados multitemporais do sensor TM - Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3713 – 3720.

DOMINGUES, J. M. L.; MARTIN, L. **Controles ambientais no desenvolvimento de dunas costeiras da região nordeste do Brasil.** Salvador: CPGG - UFBA / Lab. Estudos Costeiros, 2007. Texto on-line. Disponível em: <<http://www.cpgg.ufba.br/lec/dunas.htm>> Acessado em: 10 de julho de 2013.

FEITOSA, A. C. Lençóis Maranhenses: Paisagem exótica – Deserto na mídia. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Departamento de Geografia - USP, 2005. Artigos, v. 1. p. 1 - 8. CD-ROM.

FERNANDES, L. R.; AMARAL R. F. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): Evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 2013. v. 13, n. 1, p. 45 - 59.

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R. Equações discriminantes de solos utilizando-se características espectrais orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 119-126 CD-ROM.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 31- 71.

GASTÃO, F. G. C. **Caracterização dos Lençóis Maranhenses e dunas inativas (fósseis): implicações paleoambientais.** 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

GIANNINI, P. C. F.; ASSINE, M. L.; BARBOSA, L. M.; BARRETO, A. M. F.; CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; MARTINHO, C. T.; PEULVAST, J. P.; SAWAKUCHI, A. O. & TOMAZELLI, L. J. Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. In: Souza, C. R. G.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. (Eds.) **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. cap. 11, p. 235-257.

GOLDSMITH, V. Coastal dunes. **Coastal sedimentary environments.** In: Davis, R. A. (Editor). New York: Springer - Verlag, 1978. p. 171 – 235.

GONÇALVES, R. A. **Contribuição ao mapeamento geológico e geomorfológico dos depósitos eólicos da planície costeira do Maranhão: região de Barreirinhas e Rio Novo - Lençóis Maranhenses - MA -Brasil.** 1997. 235 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

GONÇALVES, R. A.; LEHUGEUR, L. G. O.; CASTRO, J. W. A.; PEDROTO, A. E. S. Classificação das Feições Eólicas dos Lençóis Maranhenses – Maranhão – Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC.** Fortaleza: UFC, 2003. v. 2, cap. 9, p. 99-112.

GRAÇA, P. M. L.; MALDONADO, F. D.; FEARNSSIDE, P. M. Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE. p. 917 – 924.

GREEN, K.; KEMPKA, D.; LACKEY, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 1994. v. 60, n. 3, p. 265-271.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guaramé (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. 2003. 230 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2003.

GUEDES, C. C. F. **Cronologia e sedimentologia dos depósitos eólicos quartenários da Costa Leste Maranhense**. 2012. 115p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. São Luís, MA. 499p. 2003.

IBGE. **Geografia do Brasil: Região Nordeste**. Rio de Janeiro: IBGE, 534 p. 1977.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 92 p. 1992.

_____. **Malha municipal do Estado do Maranhão**. Resolução Nº 05 de 10 de outubro de 2002.

_____. **Censo demográfico – 2010**. Resultados populacionais municipais. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>> Acesso em: 06 jun. 2015.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 212 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de Epiphânio, J. C. N. (coord.). 4 ed. São José dos Campos - SP: Parênteses, 2009. 598 p.

LEVIN, N.; BEN-DOR, E.; KARNIELI, A. Topographic information of sand dunes as extracted from shading effects using Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, 2004. v. 90, p. 190-209.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2ª Ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 850 p.

LORENA, R. B.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Técnica de detecção de mudanças aplicada em imagens de satélite como ferramenta de monitoramento de uso e cobertura da terra na Amazônia Ocidental (Acre). **Espaço e Geografia (UnB)**, Brasília, 2004. v. 7, n. 1, p. 47-76.

- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 2004. v. 25, n. 12, p. 2365-2407.
- LUKE, M. C. T.; THOMAS A. S. 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**, 2008. v. 12, p. 67–82.
- LUNETTA, R. L.; KNIGHT, F. K; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J. G.; WORTHY, L. D. Landcover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, n. 2, p. 142-154, 2006.
- MACLEOD, D. R.; CONGALTON, R. G. A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n. 3, p. 207-216, 1998.
- MADEIRA NETTO, J. S. **Etude quantitative des relations constituants min ralogiques reflectance diffuse des latosols brésiliens. Application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM**. Paris: ORSTOM, 1993. v. 1. 236 p.
- MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; CARVALHO, V. C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 5005-5013, 2002.
- MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. 2004. 328 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos, 2004.
- MALDONADO, F. D.; MARTINELLI, M.; CARVALHO, V. C. Innovaciones y mejoramientos de las técnicas de detección de cambios en la cobertura vegetal en regiones semi-áridas. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Disperati, A. A.; Santos, J. R. (eds). Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda. 2004, p. 61-69.
- MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R. Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 601-608. CD-ROM.
- MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; GRAÇA, P. M. L. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape. **International Journal of Remote Sensing**. Bristol: Taylor & Francis Inc., 2007. v. 28, n. 8, p. 1789-1804.
- MALDONADO, F. D.; SESTINI, M. F.; VALLES, G. de F.; SANTOS, C. P. F. dos. Detecção de mudanças com técnica de Rotação Radiométrica, RCEN, inovações para uma abordagem prática usando SPRING. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos - SP: INPE, 2009. p. 1433-1440.

MARANHÃO. **Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. Fundação Sôsândrade de Apoio e Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. /IICA/GEAGRO/LABOHIDRO. 242p. 2003.

MÁS, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. v. 20, n. 1, p. 139 - 152, 1998.

MCKEE, E. D. Introduction to a study of global sand seas. **U. S. Geological Survey Professional Paper**. 1979. v. 1052. p.1-19.

MELO, A. B. C., CAVALCANTI, I. F. A., SOUZA, P. P. Zona de convergência Intertropical do Atlântico. In: Cavalcanti, I. F. A. et al. (Eds). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 25-39.

MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In.: Meneses, P. R. e Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012, cap. 1, p. 01-33.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1994. p. 253-308.

NASA. **The Landsat program**. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 16 ago. de 2014.

NELSON, T.; WILSON, H. G.; BOOTS, B.; WULDER, M.A. Use of ordinal conversion for radiometric normalization and change detection. **International Journal of Remote Sensing**, 2005. v. 26, n. 3, p. 535 - 541.

OTTOMAN, F. **Introduction a la geologie marine et littorale**. Paris: Masson, 1965. 259p.

PACHECO, R. C. **Processamento de dados de imagem multiespectral aplicado à geobotânica por sensoriamento remoto: uma abordagem para áreas cobertas por Floresta Atlântica da planície costeira**. 2009. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo 2009. 196 p.

PNUD. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013. 96 p.

POLIDORIO, A. M.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; FLORES, F. C. Detecção e discriminação de sombras, nuvens e corpos d'água em imagens de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2006. n. 58, cap. 03, p. 223-232.

QUIRINO, V. F.; SANTOS, J. R.; MALDONADO, F. D.; CARVALHO, V. C. Técnica de rotação radiométrica de imagens Landsat/TM como ferramenta de detecção de mudanças da paisagem na Amazônia. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 4, 2005. Curitiba. **Anais...** Curitiba: CBCG, 2005. p. 1 - 6.

REEVES, R. G.; ANSON, A.; LANDEN, D. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia, 1975. v. 2, n. 22.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações**. Lavras: Editora UFLA, 2005. 192 p.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital image Analysis – an introduction**. SpringerVerlag, Austrália. 1993, 340 p.

ROBERT, A.; KIRMAN, C.; LESACK, L. Suspended sediment concentration estimation from multi-spectral video imagery. **International Journal Remote Sensing**, 1995. v.16, p. 2439-2455.

SANTOS, J. H. S. dos. **Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos: um tratamento espacial**. 2008. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, J. H. S. dos.; CASTRO, J. W. A.; GONÇALVES, R. A. ; SANTOS, N. F. B. dos. Modelo evolutivo do sistema de dunas eólicas do setor leste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses – MA/Brasil. In: Congresso da Abequa, 10, 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari: ABEQUA, 2005. 1 CD. 5 p.

SANTOS, J. H. S.; SANTOS, N. F. B. The Lençóis Maranhenses: A Paradise of Dunes and Ponds. In: Vieira, B. C., Salgado, A. A. R and Santos, L. J. C.. (Org.). **Landscapes and Landforms of Brazil**. New York: Springer, 2015, v. 1, p. 79-90.

SANTOS, J. H. S. dos; SILVA, J. X. da. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas nativas dos Lençóis Maranhenses. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa-MG: UFV, 2009. v.1. Artigos, p. 1 - 17. CD-ROM.

SANTOS, J. R.; MALDONADO, F. D.; GRAÇA, P. M. L. A. Imagem CBERS: uma nova ferramenta para subsidiar estudos de mapeamento e monitoramento ambiental. In: Disperati, A. A.; Santos, J. R. (eds). **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba: Copiadora Gabardo Ltda., 2004. n. 1, p. 128-137.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Orgs). **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p. 175-218.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

SLATER, P. N. **Remote sensing: optics and optical systems**. New York: Addison-Wesley, 1980. 515p.

STEFFEN, A. C.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. **Radiometria óptica espectral**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 1996. Salvador. Tutorial. São José dos Campos: INPE, 1996. 43p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992. 171p.

_____. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Passado + presente = futuro?** São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999. 366p.

TREBOSEN, H.; DEFFONTAINES, B.; CLASSEAU, N.; KOUAME, J.; RUDANT, J. P. Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. **Comptes Rendus Geosciences**, 2005. v. 337, cap. 13, p. 1140 – 1153.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat missions, specifications of the bands and sensors**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php> Acesso em: 14 dez. 2013.

_____. **Landsat 8, instruments and data products**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>> Acesso em: 18 nov. 2014.

_____. **Download Satellite images**. Earth Explorer. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 20 fev. 2015.

APÊNDICE A

Datas das 30 cenas utilizadas dos satélites Landsat:

IMAGENS	DATA	ÓRBITA PONTO	SATÉLITE / SENSOR
1	20/06/1984	220-062	Landsat 5 / TM
2	10/08/1985	220-062	Landsat 5 / TM
3	10/06/1986	220-062	Landsat 5 / TM
4	15/07/1987	220-062	Landsat 5 / TM
5	27/09/1988	220-062	Landsat 5 / TM
6	06/09/1989	220-062	Landsat 5 / TM
7	08/08/1990	220-062	Landsat 5 / TM
8	12/09/1991	220-062	Landsat 5 / TM
9	21/08/1992	220-062	Landsat 5 / TM
10	15/07/1993	220-062	Landsat 5 / TM
11	02/07/1994	220-062	Landsat 5 / TM
12	03/06/1995	220-062	Landsat 5 / TM
13	09/09/1996	220-062	Landsat 5 / TM
14	28/09/1997	220-062	Landsat 5 / TM
15	11/06/1998	220-062	Landsat 5 / TM
16	01/08/1999	220-062	Landsat 5 / TM
17	23/11/2000	220-062	Landsat 5 / TM
18	23/09/2001	220-062	Landsat 5 / TM
19	13/01/2002	220-062	Landsat 5 / TM
20	16/11/2003	220-062	Landsat 5 / TM
21	13/07/2004	220-062	Landsat 5 / TM
22	01/08/2005	220-062	Landsat 5 / TM
23	01/06/2006	220-062	Landsat 5 / TM
24	07/08/2007	220-062	Landsat 5 / TM
25	10/09/2008	220-062	Landsat 5 / TM
26	29/09/2009	220-062	Landsat 5 / TM
27	04/02/2010	220-062	Landsat 5 / TM
28	05/10/2011	220-062	Landsat 5 / TM
29	08/09/2013	220-062	Landsat 8 / OLI
30	25/07/2014	220-062	Landsat 8 / OLI

APÊNDICE B

Número Digital (DN) dos pontos selecionados para execução da RCEN no PNLN:

ÁREA	Nº	DATA 1 - 21/08/1992	DATA 2 - 10/09/2008	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Leste	1	59	61	02° 35' 1.425''s / 42° 45' 40.221''w
	2	27	30	02° 34' 54.064''s / 42° 47' 47.327''w
	3	48	46	02° 37' 46.136''s / 42° 46' 27.480''w
	4	124	101	02° 39' 49.645''s / 42° 49' 56.137''w
	5	63	70	02° 37' 56.622''s / 42° 48' 34.117''w
	6	132	163	02° 35' 49.086''s / 42° 49' 10.779''w
	7	120	149	02° 35' 8.705''s / 42° 47' 0.642''w
	8	110	104	02° 37' 6.339''s / 42° 45' 37.335''w
	9	125	164	02° 38' 45.886''s / 42° 50' 19.802''w
	10	125	157	02° 38' 29.032''s / 42° 51' 17.162''w
Sul	11	28	28	02° 39' 36.470''s / 42° 51' 55.711''w
	12	65	79	02° 41' 24.786''s / 42° 55' 13.306''w
	13	23	26	02° 40' 56.460''s / 43° 02' 0.048''w
	14	56	53	02° 37' 25.305''s / 43° 05' 45.732''w
	15	49	50	02° 34' 52.409''s / 43° 07' 34.413''w
	16	84	80	02° 38' 16.153''s / 42° 51' 51.849''w
	17	140	171	02° 41' 14.282''s / 42° 57' 13.330''w
	18	143	172	02° 39' 7.111''s / 43° 01' 43.332''w
	19	105	115	02° 35' 33.023''s / 43° 02' 45.003''w
	20	136	167	02° 35' 31.532''s / 43° 10' 59.266''w
Oeste	21	24	28	02° 32' 52.657''s / 43° 10' 53.712''w
	22	71	81	02° 31' 28.911''s / 43° 12' 41.392''w
	23	62	76	02° 28' 35.363''s / 43° 13' 17.185''w
	24	79	79	02° 26' 15.778''s / 43° 14' 30.705''w
	25	21	25	02° 20' 49.481''s / 43° 19' 33.783''w
	26	133	171	02° 30' 41.898''s / 43° 10' 49.894''w
	27	143	118	02° 29' 18.906''s / 43° 10' 58.009''w
	28	89	148	02° 27' 54.579''s / 43° 11' 9.679''w
	29	138	157	02° 22' 28.667''s / 43° 15' 2.551''w
	30	128	153	02° 21' 27.677''s / 43° 17' 2.181''w