

Análise da evolução da cobertura do solo em áreas de manguezais na ilha do Maranhão, entre os anos de 1988 e 2010 com dados de Sensoriamento Remoto orbital.

Taíssa Caroline Silva Rodrigues¹

Thiago Frank¹

Ulisses Denache Vieira Souza²

Hermann J. H. Kux¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 96 - 13416-000 – São José dos Campos - SP, Brasil
(taissageo, frank, Hermann)@dsr.inpe.br

²Universidade Federal do Maranhão- UFMA
Caixa Postal 09 - 65055-098– São Luís -MA, Brasil
ulissesdenache@hotmail.com

Abstract. Coastal areas are dynamic and important environments for human occupation because of its location, and closeness to fluvial and coastal areas. The objective of this study is to analyze the evolution of land use in mangrove areas of Maranhão Island, considering a multi-temporal approach (1988 to 2010). Initially two TM/Landsat-5 images were registered and classified with good statistical indices, for these years, comparing the landscape changes related to the decrease of mangrove areas and increase of urban use, taking into account also some variables, such as the tidal regime that can generate differences in the results. This result was confirmed by the analysis of high spatial resolution WorldView-2 images which were also analyzed.

Palavras-chave: Mangroves, Remote sensing, GIS, Mangues, Sensoriamento remoto, SIG,

1 Introdução

As regiões litorâneas são faixas limítrofes entre os continentes e os oceanos, sendo um cenário de interação dos agentes terrestres, oceânicos e atmosféricos e constituem setores com grande troca entre Matéria e Energia no Sistema Terrestre. A dinâmica dessas áreas possibilita a interação de diversos fatores e a organização de ecossistemas que apresentam características específicas de funcionamento o que leva a importância de estudos sobre a ocupação desses ambientes, sua cobertura e uso (SOUZA e FEITOSA, 2009).

Para melhor gerenciar essas áreas, torna-se necessário o mapeamento da cobertura do solo, com o objetivo de entender como se comporta a dinâmica de ocupação dessas unidades de conservação. Conforme Prado (2009), cobertura do solo vem ser o seu revestimento caracterizado por suas propriedades biofísicas, físicas e químicas com reação própria de interação energia-matéria.

Dentro do contexto de ambientes costeiros, os manguezais são os ecossistemas que mais sofrem com problemas de desmatamento. Segundo Mochel et al. (2006) sua ocorrência é em margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde há encontro da água doce com salgada, ou diretamente exposto à linha da costa e submetido diariamente à ação das marés de água salgada ou salobra. São sistemas funcionalmente complexos, altamente resistentes e, portanto, estáveis, caracterizados por vegetação e sedimentos típicos e por sua grande importância socioeconômica e ambiental.

Devido à importância de estudos que possam identificar a ocupação dessas áreas, este trabalho tem como objetivo utilizar dados de sensores remotos para identificar, a partir de uma análise multi-temporal de imagens do TM-LANDSAT do período de 1988 a 2010, as principais transformações causadas na paisagem natural do ambiente costeiro, analisando o mapa de uso e cobertura do solo durante esses períodos.

2 Área de Estudo

A ilha do Maranhão está situada na região norte do Estado do Maranhão, localizada no segmento litorâneo do Golfão Maranhense, no NE Brasileiro. Constitui-se de quatro municípios: Raposa, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e São Luís, capital do Estado do Maranhão (figura 01).

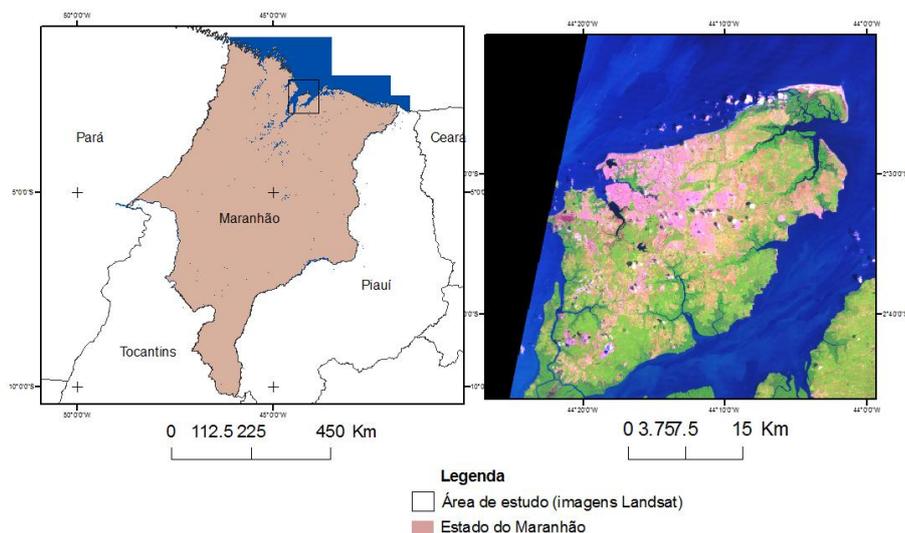


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo

Esta área apresenta características físicas marcantes, impactadas pelo crescimento urbano sem nenhum planejamento e/ou preocupação com a sua conservação. São Luís constitui uma área de forte crescimento, apresentando na região os maiores índices de desenvolvimento urbano e regional.

A área de estudo caracteriza-se pela fragilidade das estruturas geológicas, constituídas essencialmente de coberturas do Cenozóico, o que facilita a alteração da paisagem por sua exposição aos agentes modeladores do relevo de origem climática (ventos alísios) e oceanográfica (marés), e pela intensa atividade eólica, marinha e fluvial-marinha, gerando correntes que modelam o maior conjunto de falésias do litoral do Maranhão, e pelo aporte de sedimentos continentais carreados pelos rios que fortalecem o aparecimento de ambientes como os manguezais (SOUZA e FEITOSA, 2009).

Devido a essa fragilidade e ao intenso processo de industrialização da região e o crescimento populacional urbano desordenado, os manguezais da região estão sofrendo um forte impacto.

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Foram utilizadas imagens do TM- Landsat, com o objetivo de identificar as áreas que sofreram maior supressão da vegetação de mangue, ao longo das duas últimas décadas. Para tanto foram utilizadas imagens dos anos de 1988 e 2010, do segundo semestre de cada ano, época em que a umidade na região é menor, havendo conseqüentemente uma menor cobertura de nuvens. Estas imagens foram obtidas do site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>).

Para a realização do registro das imagens foi adquirida imagem do site Maryland (<http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) sensor TM-Landsat, do ano de 2004, com resolução espacial de 30 x 30 previamente ortorretificada.

Ao estudar áreas extensas, as imagens do TM-Landsat podem ser usadas, porém para uma análise mais detalhada sobre o seu padrão de ocupação, são necessárias imagens de alta resolução espacial, que apresentam maior riqueza de detalhes.

Na segunda etapa do trabalho, foi utilizada imagem do sistema sensor World-View II, em que se teve uma classificação mais detalhada do processo de cobertura do solo.

3.2 Registro da Imagem

O registro de imagens é uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas de uma imagem já processada e ortorretificada. Esta transformação é importante, pois elimina as distorções da imagem, causadas durante a sua formação pelo sistema sensor e por imprecisões dos dados de posicionamento da plataforma (satélite).

O registro da imagem foi realizado com o software aplicativo ArcGIS. As imagens TM - LANDSAT, bandas 3,4 e 5; dos anos de 1988 e 2010, foram geo-referenciadas com pontos de controle baseados numa imagem TM - LANDSAT de referência, previamente ortorretificada. As coordenadas de referência utilizadas são locais passíveis de identificação em todas as imagens usadas, tais como cruzamento de ruas, avenidas e meandros de rios, perfazendo 10 pontos para o registro de cada cena TM-LANDSAT. O erro encontrado foi aceitável, sendo menor que a metade de um pixel.

Para o procedimento de registro optou-se pela escolha de polinômios de primeiro grau, pois a área apresenta um relevo plano com poucas ondulações. As transformações polinomiais fazem o vínculo entre coordenadas de imagem e as coordenadas do sistema de referência através de pontos de controle.

3.3 Técnica das Principais Componentes

Para distinguir melhor os alvos da área de estudo, aplicou-se a técnica das principais componentes nas imagens. Consiste no realce que reduz ou remove a redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não disponíveis em outras bandas. Foi utilizada a primeira componente principal, visto que ela contém a informação de brilho associada às sombras de topografia e às grandes variações da reflectância espectral geral das bandas. Esta componente principal contém a maior parte da variância total dos dados, concentrando a informação antes diluída, em várias dimensões. Assim foi possível distinguir mangues de outros alvos encontrados na cena, sendo realizado ainda um contraste para auxiliar na separação dos alvos (tabela 01).

3.4 Classificação e edição matricial nas imagens Landsat

Para a classificação das imagens TM-Landsat foi realizada uma análise multitemporal através de uma classificação não supervisionada no SPRING 5.2. Nestas imagens, foi aplicada a classificação não supervisionada pixel a pixel, usando o classificador K-médias. Segundo Congalton e Green (1999), a classificação por pixel visa identificar a classe de cada pixel na imagem através de comparações do vetor n-dimensional de dados de cada elemento com o padrão de cada classe.

Os planos de informações foram editados através da edição matricial, observando-se as feições na imagem, levando em consideração as chaves de interpretação, o conhecimento da área por parte dos analistas além das imagens de alta resolução do ano de 2010.

3.5 Validação da Classificação das Imagens

Para validar as classificações realizadas nas imagens do sistema sensor TM/Landsat-5 de 1988 e 2010, foram utilizadas 15 amostras aleatórias para cada uma das cinco classes temáticas (dunas, outros tipos de vegetação, mangue, áreas urbanas, água). Posteriormente foram calculados o índice *Kappa* e a Exatidão total.

3.6 Fusão e Classificação das Imagens WorldView II

O sensor orbital WorldView-II, lançado em Outubro de 2009, possui resolução espacial de 0,46 m na banda pancromática e 1,84 metros nas bandas multiespectrais, além de uma resolução radiométrica de 11 bits (Digitalglobe, 2010a).

As bandas adicionais deste sistema sensor podem ser utilizadas para diversas aplicações, como por exemplo: A banda *Red Edge* auxilia no estudo da sensibilidade das plantas além de permitir a discriminação entre formações vegetais arbóreas e rasteiras, devido a sua alta resolução espacial, que permite executar uma segmentação para avaliar detalhes em pequena escala. A banda *Coastal*, por possuir maior dispersão atmosférica, pode ser utilizada para investigar novas técnicas de correção atmosférica. Além disso, esta banda possui maior capacidade de penetração na água, ajudando em estudos de batimetria (SOUZA, ALFAYA e KUX, 2011).

Para melhorar a resolução espacial da imagem a ser analisada, realizou-se a fusão entre as imagens pancromáticas (resolução 0,5 metros) e multiespectrais (resolução 2,4 metros). As fusões e os recortes das imagens pancromáticas e multiespectrais, foram realizados com o aplicativo ENVI 4.7, ITT (2009) e utilizou o algoritmo das Principais Componentes (WELCH e EHLERS, 1987).

Na etapa seguinte de classificação da imagem de alta resolução, utilizou-se o software comercial e-Cognition® (Baatz & Schäpe, 2000), que permite implementar um sistema de interpretação de imagens baseado em segmentações e redes hierárquicas. Considera o conhecimento do usuário para rotular redes hierárquicas obtidas por uma segmentação multinível. Numa descrição simplificada, este sistema baseia-se no conhecimento do analista.

Posteriormente foi realizada a segmentação utilizando o algoritmo de segmentação multirresolução, disponível no e-Cognition®. Foi considerado o valor 0.5 para os parâmetros de “*Shape*” (forma) e “*Compactness*” (compacidade), sendo o parâmetro “*Scale*” (escala) ajustado em 70. Para a realização da classificação foi utilizado a análise exploratória dos atributos, onde foi utilizado principalmente atributos como média e desvio padrão das bandas 4 (*yellow*), 7 e 8 (*near infra-red*).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efeitos de comparação da cobertura do solo da ilha do Maranhão, foram elaborados dois mapas referentes aos anos 1988 e 2010 (Figuras 03 e 04). Assim identificaram-se os seguintes alvos, através de processamento digital das imagens e da classificação não supervisionada: Água, Área urbana, Solo exposto, Vegetações (espécies diferentes dos mangues) e áreas de manguezais.

Devido à confusão entre algumas classes como, nuvens e água, foi necessário aplicar as ferramentas de edição matricial e mecanismos de interpretação de imagens para a correção do mapa. Este procedimento foi importante para se obter resultados confiáveis.

Mapa de cobertura do solo da ilha do Maranhão no ano de 1988.

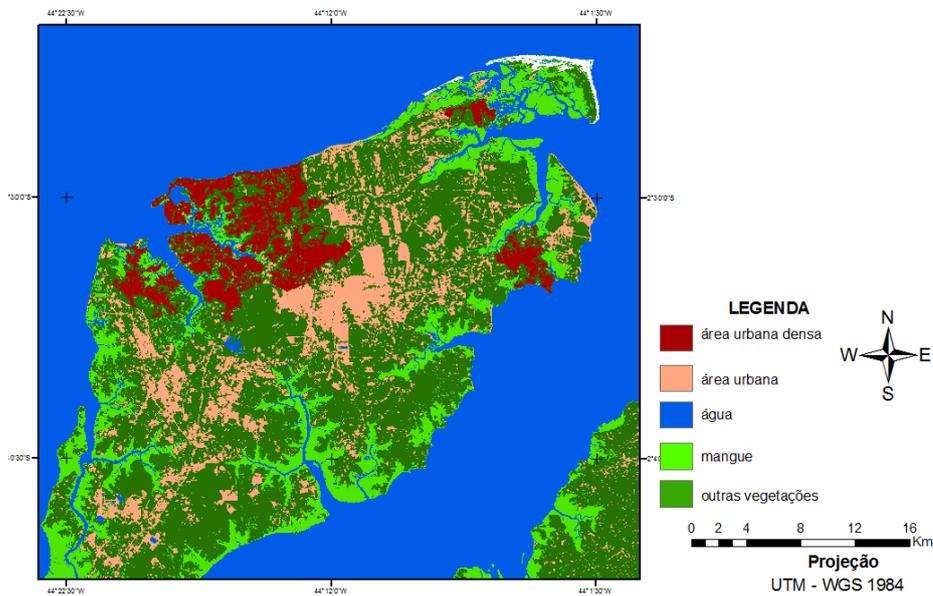


Figura 03: Mapa de cobertura do solo na ilha do Maranhão no ano de 1988.

Mapa de cobertura do solo da ilha do Maranhão no ano de 2010.

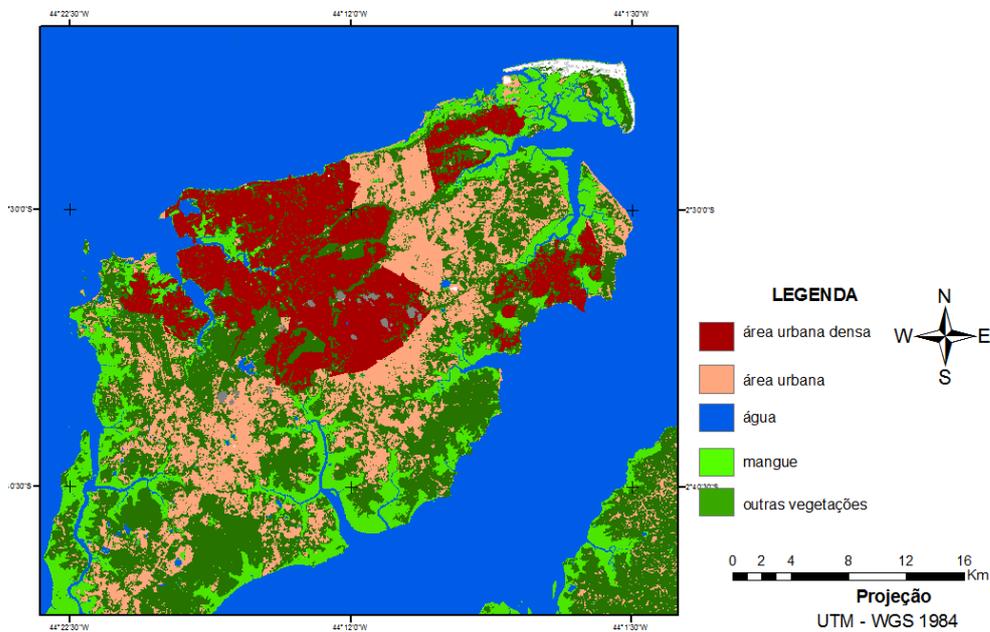


Figura 04: Mapa de cobertura do solo na ilha do Maranhão no ano de 2010.

Durante um período de 22 anos ocorreu à expansão urbana em direção às áreas de manguezais e de preservação. O desmatamento dos manguezais neste espaço de tempo foi devido ao estabelecimento de novas industriais no parque industrial do município de São Luís e pela ineficiente fiscalização de controle das ocupações irregulares, abertura de novas avenidas, inclusive, programas do Governo Federal como o PAC.

Para validar a classificação das imagens Landsat-TM de 1988, obteve-se o índice *Kappa* de 0,8400 e a exatidão total de 0,8687 para os dois anos estudados, porém a matriz de confusão entre as classes mostrou algumas diferenças sutis (Tabela 01 e 02)

	Dunas	Mangue	Vegetação	Água	Urbano Denso	Urbano	nit
Dunas	13	0	2	0	0	0	15
Mangue	0	15	0	0	0	0	15
Vegetação	0	0	14	0	0	1	15
Água	0	0	0	15	0	0	15
Urbano Denso	0	0	4	0	11	0	15
Urbano	0	0	5	0	0	10	15
nti	13	15	25	15	11	11	90

Tabela 01: Matriz de confusão do ano de 1988

	Dunas	Mangue	Vegetação	Água	Urbano Denso	Urbano	nit
Dunas	11	0	4	0	0	0	15
Mangue	0	15	0	0	0	0	15
Vegetação	0	0	14	1	0	0	15
Água	0	0	0	15	0	0	15
Urbano Denso	0	0	3	0	12	0	15
Urbano	0	0	4	0	0	11	15
nti	11	15	21	16	12	11	90

Tabela 01: Matriz de confusão do ano de 2010

A classificação orientada a objetos na imagem de alta resolução permitiu a percepção de detalhes da ocupação dos ambientes costeiros no ano de 2010. Verificamos que clareiras foram abertas na área de manguezal e ocupadas na maior parte por residências com padrão de baixa renda, o que pode ser comprovado pelo tamanho dos lotes e material do telhado, assunto esse que será analisado e discutido em trabalhos posteriores com classificações mais detalhadas (Figura 05).

Mapa de cobertura da área teste

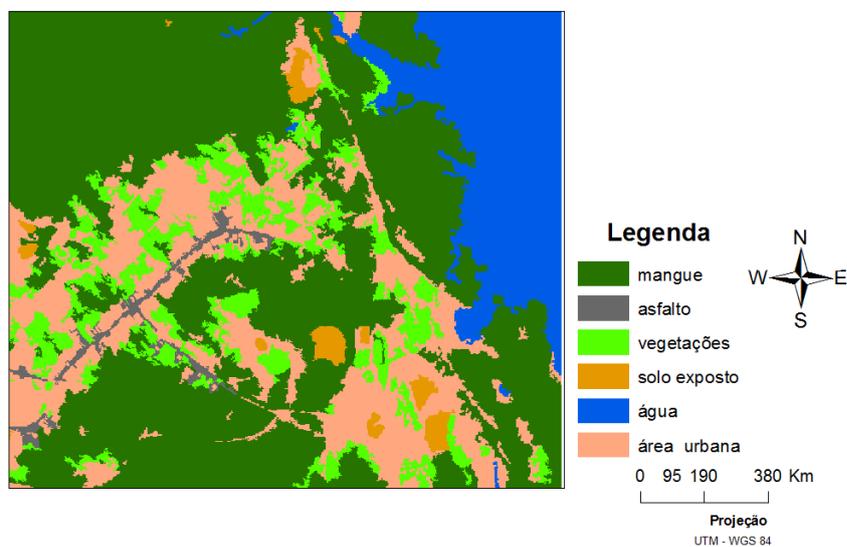


Figura 05: Mapa de cobertura da área teste

5 Considerações Finais

A metodologia proposta pelo trabalho apresentou importantes resultados quanto à discriminação dos diferentes alvos e classificação de cada classe. O trabalho mostrou que a edição dos dados é uma importante ferramenta utilizada pelo analista para corrigir possíveis erros de classificação.

Se observou que outras técnicas podiam ser utilizados para a escolha da limiarização dos atributos utilizados na classificação orientada a objeto realizada no eCognition. A técnica de mineração dos dados pode ser utilizada em trabalhos futuros com o objetivo de melhor escolher os atributos utilizados e compara-los com a classificação feita com análise exploratória dos atributos, podendo assim identificar quais as melhores técnicas de classificação para a área de estudo.

Agradecimentos

Agradecemos a empresa Digital Globe pelo fornecimento das imagens do sensor WorldView – 2.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, R. J. **Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas.** Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n. 41, p. 52-72, 1993.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation.** In: XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, 2000, Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- BHASKARAN, S.; PARAMANANDA, S.; RAMNARAYAN, M. **Per-pixel and object-oriented classification methods for mapping urban features using Ikonos satellite data.** Applied Geography, v. 30, n. 4, p. 650-665. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.apgeog.2010.01.009, 2010.
- BLASCHKE, T., 2010. **Object based image analysis for remote sensing.** ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, n. 65, p. 2-16.
- COSTA, G. A. O. P. **A knowledge-based approach for automatic interpretation of multirate remote sensing data.** 2009. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2009.
- COSTA, G. A.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. **INTERIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation.** In: **Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.** Presidente Prudente, UNESP, 2007, 2ª ed. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/sbg-cbcg/>
- CONGALTON, R. G.; GREEN, R. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1999, 137 p.
- DEFINIENS Imaging GMBH. eCognition's User Guide. Munique, 2004, 480 p.
- Digital Globe. WhitePaper – **The benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-II. Março, 2010a.** Disponível em: <http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8_Band_Applications_Whitepaper.pdf> Acessado em: 20 de Agosto de 2012.

Digital Globe. WhitePaper – The benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-II. Março, 2010a. Disponível em: <http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8_Band_Applications_Whitepaper.pdf> Acessado em: 20 de Agosto de 2010.

HAY, G.J. CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): **A new name for a new discipline**. In: BLASCHKE, T.; LANG, S. HAY, G. (eds.), **Object Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 817 p. Cap. 1.4 , pag 93 – 112.

ITT Visual Information Solutions. **ENVI 4.7, version 4.7**. Boulder, Colorado, EUA, 2009.

MOCHEL, F.R; COSTA, M.R.P; ALCÂNTARA, E.H; AMORIM, A.J.E. **Avaliação das potencialidades e fragilidades das áreas de manguezal para a implementação do ecoturismo usando ferramentas de sensoriamento remoto em Curupu – MA**. Revista Caminhos de Geografia. São Luís, v. 22, n.17, p. 237 – 243, 2006.

PRADO, F.A. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. 2009. 167 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), . Presidente Prudente, 2009.

SOUZA, U. .D. V. **Classificação da cobertura e do uso do solo urbano de São Luís (MA), com imagens WorldView-2 utilizando mineração de dados e o Sistema Interimage**. 2012. 136 p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <http://mtc.m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19/2012/10.17.17.34/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 01 de novembro de 2012.

SOUZA, U.D.V.; FEITOSA, A.C. **Ocupação e uso da zona costeira do Estado do Maranhão**. In: Encontro de Geógrafos da América Latina (EGAL), 12.,2009, Montevideu. Anais... XII EGAL, 2009. Trabalhos completos, p. 2415-2430. CD-ROM, On line. ISBN 78-14-00012-3. Disponível em:<<http://www.egal2009.com/>>.Acesso em: 21 junho. 2012.

SOUZA, U.D.V.; ALFAYA, F.A.V.S.; KUX, H.J.H. **Contribuição das novas bandas espectrais do satélite Worldview-II para a classificação de tipos vegetais em habitats costeiros: resultados iniciais**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto., 2011, Curitiba. Anais... Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0824.pdf>>. Acesso em 21 de junho de 2012.

WELCH, R.; W. EHLERS. **Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 53 n.3, p. 301- 303, 1987.