

Análise de dados do satélite *WorldView-2* baseada em objetos, para a classificação das áreas de manguezais em São Luis (MA), Brasil

Hermann Johann Heinrich Kux¹
Ulisses Denache Vieira Souza²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
hermann@dsr.inpe.br

² Universidade Federal do Maranhão - UFMA
CEP 65080-805 - São Luis - MA, Brasil
ulissesdenache@hotmail.com

Abstract. The objective of this paper is to classify different types of irregular occupation in areas covered by mangroves in São Luis (Maranhão State, Brazil), considering the paradigm OBIA (Object-based Image Analysis), analyzing *WorldView-2* satellite data with InterIMAGE, a free and open source software for image analysis. A methodology was proposed to study the main targets of this area, such as: secondary vegetation (apicum), mangroves, tidal flats, irregular constructions in tidal areas, paved streets and different types of condominiums. Initially an image fusion was made, merging multispectral images with the panchromatic channel to improve information quality of *WorldView-2* data. Following an ortho-rectification was made, using GCPs obtained during field survey. The data mining GEODMA software was used to establish the attributes which characterize the targets of interest. Afterwards those classes of interest were structured and a knowledge model was established. The classification using the OBIA paradigm allowed the discrimination of mangrove areas as well as those sections occupied irregularly. The use of open source free software InterIMAGE (for image classification) and GEODMA for the elaboration of a decision tree allowed a fast classification, from optimized image attributes. The additional new channels Yellow and Red Edge at the *WorldView-2* sensor system were extremely important to discriminate the mangrove from other vegetation types.

Palavras-chave: *WorldView-2*, High resolution images, Mangrove, Object-based image analysis, Urban area, Imagens de alta resolução, Mangue, Análise de imagens baseada em objetos, Área urbana.

1. Introdução

Após o lançamento do satélite *WorldView-2* em Outubro de 2009 imagens orbitais de muito alta resolução espacial foram disponibilizadas para estudos detalhados de cidades em áreas costeiras. Trata-se do primeiro sistema sensor com 0,46 m de resolução na banda pancromática e 1,84 m nas bandas multiespectrais..

Para processar e analisar os grandes conjuntos de dados deste sistema sensor, novas metodologias foram desenvolvidas e testadas. OBIA (Object-based Image Analysis), a sigla em inglês de Análise de imagens baseada em objeto, é um novo paradigma metodológico utilizado para a classificação de uso/cobertura do terreno em áreas urbanas, com imagens de muito alta resolução espacial (BLASCHKE & KUX, 2007, BLASCHKE, 2010). Dentro desta concepção a PUC-Rio, Depto. de Engenharia Elétrica, em parceria com o INPE (DSR e DPI) desenvolveu um software aplicativo para a análise de imagens baseada em conhecimento: o InterIMAGE, com código aberto e acesso livre (PAHL,2008; COSTA, 2009).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para o mapeamento de manguezais, área-teste Ilha do Maranhão, com imagens do *WorldView-2*, usando o InterIMAGE e atributos selecionados por técnicas de mineração de dados e implementados no software GeoDMA, implementado no INPE (KORTING, 2012).

1.1. Análise de imagens baseada em objetos (OBIA)

Para a análise de dados com alta resolução espacial, como aqueles do *WorldView-2*, o uso da classificação convencional pixel a pixel é bastante limitada, porque imagens deste sistema

sensor apresentam um alto nível de heterogeneidade e variação interna das classes na mesma cena. BLASCHKE (2010) analisou a evolução do OBIA, apresentando estudos que usaram este paradigma para diferentes aplicações. OBIA considera, na classificação de imagens baseada em objetos, informações topológicas (vizinhança, contexto), e geométricas (forma, tamanho).

Atributos como forma, tamanho, textura, padrão e contexto são úteis para a classificação onde somente atributos espectrais são insuficientes e o conhecimento do analista é inserido para melhorar a classificação da imagem. A definição do espaço de atributos de certa classe é uma tarefa associada a um determinado nível de imprecisão na associação de um objeto a uma determinada classe.

1.2. Fusão de imagens

A fusão da imagem pancromática com cenas multiespectrais do *WorldView-2* foi efetuada usando o método dos principais componentes, resultando numa imagem com resolução espacial de 0,50 m.

1.3. Ortorectificação

A ortorectificação foi realizada usando o método polinomial racional 3D (TOUTIN, 2004) do software aplicativo PCI Geomatics v 10.3.1, considerando 55 pontos de controle no terreno (GCPs) para toda a área em estudo. Os GCPs usados para a correção geométrica foram obtidos em levantamento de campo em Agosto de 2011.

1.4. Rede semântica

A rede semântica desenvolvida considerou as seguintes classes de cobertura do terreno para as áreas testes, baseada na análise visual de imagens do *WorldView-2* e do conhecimento prévio da área pelos autores: a área de mangue foi discriminada em vegetação arbórea e Apicum (vegetação rasteira) e solo nu, telhados (cerâmicos, de metal e de fibro-cimento), pavimentação com asfalto, canais de maré.

1.5. InterIMAGE

InterIMAGE é um software livre, baseado em conhecimento, para a análise de imagens. Foi desenvolvido num âmbito de um projeto de cooperação entre o INPE (DPI e DSR), o Laboratório de Visão Computacional da PUC-Rio e Universität Leibniz de Hannover (Alemanha). De acordo com COSTA (2009), este aplicativo herdou a estrutura do conhecimento, o design e os mecanismos de controle do sistema alemão GeoAIDA (PAHL, 2008), que consiste num desenvolvimento posterior do AIDA (*Automatic Image Data Analyzer*).

De acordo com RIBEIRO (2010) e CARVALHO (2011), as principais características do InterIMAGE são a sua flexibilidade para a interpretação de imagens multi-sensores e a redução de tempo computacional para o processamento e carregamento para a análise de imagens. A versão mais recente do InterIMAGE pode ser baixada em <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/>. Dentre outros operadores para a extração de objetos ele contém: um segmentador de Baatz, o *Checkerboard*, um classificador por árvores de decisão, um importador de arquivos vetoriais, atributos topológicos que podem ser usados nas regras de decisão *Top-Down* e *Bottom-Up* (COSTA, 2009).

1.6. Mineração de dados e GEODMA

Mineração de dados (*Data Mining*) consiste na aplicação de algoritmos computacionais sobre uma base de dados, com o objetivo de resumir conhecimentos novos e úteis. WITTEN et al. (2011) informam que estes algoritmos, de acordo com certos paradigmas, baseiam-se em

técnicas que objetivam explorar dados para produzir modelos de conhecimento que expressam padrões característicos que podem ser explorados para a classificação.

GeoDMA executa todas as fases de processamento necessárias para manipular dados de sensoriamento remoto, incluindo a segmentação, extração e seleção de atributos, treinamento, classificação e análise exploratória de dados.

Segundo KORTING (2012) o uso das ferramentas de mineração de dados aumenta o potencial de aplicação de dados de sensoriamento remoto quando usadas em áreas urbanas, por causa da variedade de alvos e das dificuldades na discriminação nestes ambientes. Considerando a grande quantidade de objetos a serem classificados, técnicas mais precisas para a extração de informações são necessárias.

1.7. Análise espacial de dados geográficos

A análise espacial ajuda a processar dados a serem usados permitindo também, através de uma análise exploratória, entender os atributos e variáveis que explicam certos processos. Cruzando as informações obtidas de imagens de satélite com dados de instituições de administração pública, bem como com dados de fragilidade ambiental, obtidos por inferências geo-espaciais, podem indicar o estado atual de ambientes estressados, tais como certas áreas cobertas por manguê.

2. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na Ilha do Maranhão, perfazendo uma área de 831 km². Para mapear as áreas de florestas de manguê, duas áreas testes foram escolhidas contendo diferentes estágios de crescimento deste tipo vegetal, incluindo seções que estão sofrendo forte impacto pelo Homem bem como aquelas em recuperação e que representam a situação atual em toda a ilha. As áreas testes são apresentadas na Figura 1.



Figura 1 – Localização da área-teste na cidade de São Luis

Fonte: Recorte de imagem do WorldView-2 de 10.07.2010; DIGITALGLOBE, 2010.

A Ilha do Maranhão constitui-se essencialmente de frágeis estruturas geológicas do Quaternário, o que facilita as alterações da paisagem por agentes modeladores de origem climática, hidrológica e oceanográfica. Para maiores detalhes a respeito vide SOUZA & FEITOSA (2009) e GERCO (1998).

Associados a estas frágeis estruturas geológicas, os mangues encontram-se principalmente às margens de baías, reentrâncias costeiras, desembocaduras de rios e lagunas. Tais sistemas são funcionalmente complexos, altamente resistentes e estáveis, ocorrendo exclusivamente em ambientes tropicais. Caracterizam-se por uma vegetação e sedimentos típicos, sendo muito importantes do ponto de vista social-econômico e ambiental (MOCHEL, 2006).

Neste estudo foram utilizados dados estatísticos disponibilizados por órgãos governamentais e empresas parceiras deste Projeto, além de estudos acadêmicos anteriores.

3. Metodologia

Os principais passos metodológicos estão apresentados no fluxograma abaixo (Figura 2):

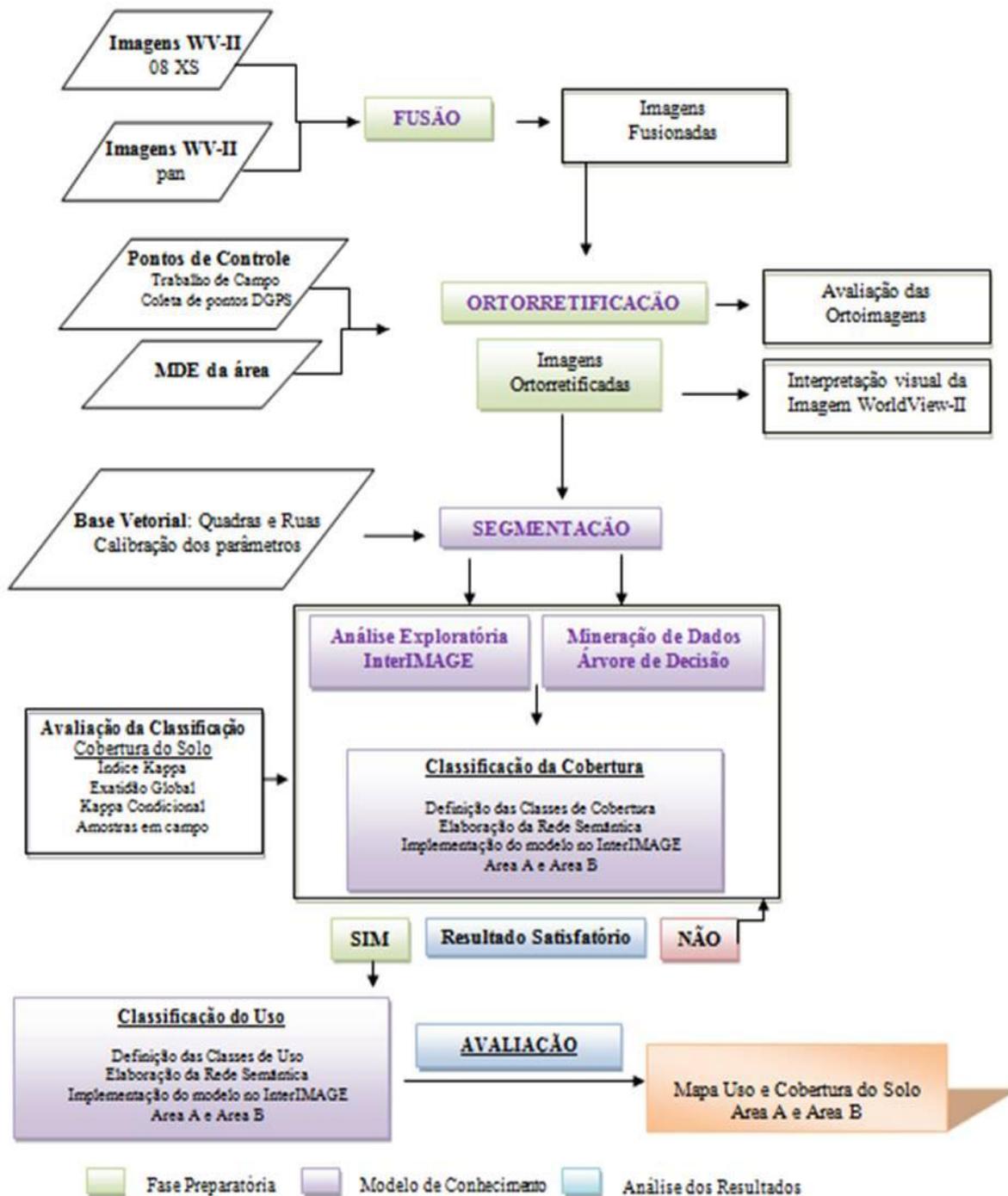


Figura 2 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Materiais usados:

1. Cena do sensor *WorldView-2* tomada em 10.06.2010, com ângulo *off-nadir* de 16° e 11 bits de resolução radiométrica, fornecida pela empresa DIGITALGLOBE.
2. Arquivos vetoriais das quadras de São Luis, da Secretaria de Planejamento de São Luís;
3. Pontos de controle no terreno (GCPs) obtidos em levantamento de campo com equipamento receptor geodésico TOPCON Hiper L GPS;
4. Mapa com curvas de nível, equidistância de 1 m da região de São Luís.

Utilizaram-se os seguintes aplicativos: ENVI 4.7 (ITT, 2009) para fusão e recorte das áreas-teste; PCI Geomatics V10.3.1 (PCI Geomatics, 2010) para os trabalhos com o Modelo Digital de Elevação e pontos de controle e posterior ortorretificação; InterIMAGE v1.27 (InterIMAGE 2010) e GeoDMA para a análise exploratória dos atributos de imagem e classificação de cobertura da terra.

4. Resultados

Com base nos atributos escolhidos, um mapa de cobertura da terra foi gerado a partir da classificação de dados do *WorldView-2*, usando o InterIMAGE v1.27 e o GeoDMA para mineração de dados. Este aplicativo permitiu uma análise supervisionada dos diferentes atributos e para definir os mais apropriados bem como os limiares usados para a classificação.

Durante a implementação da rede hierárquica, efetuou-se a classificação pelo InterIMAGE, usando o procedimento *Top-Down* e *Bottom-Up* deste aplicativo. Optou-se por uma rede com poucos níveis e muitos nós, que resultou em custos computacionais menores (RIBEIRO, 2010).

Concluída a estruturação da rede semântica (Figura 3), efetuou-se a segmentação da cena (Figura 4), onde os nós-folha executam uma seleção lógica e transmitem ao nó-pai um reduzido número de hipóteses, para posterior classificação do objeto, na etapa *Bottom-Up*. Os conflitos são resolvidos, atribuindo-se valores de pertinência a cada classe, priorizando os atributos que definiram aquelas classes com menos erros de omissão e comissão.



Figura 3 – Rede semântica.

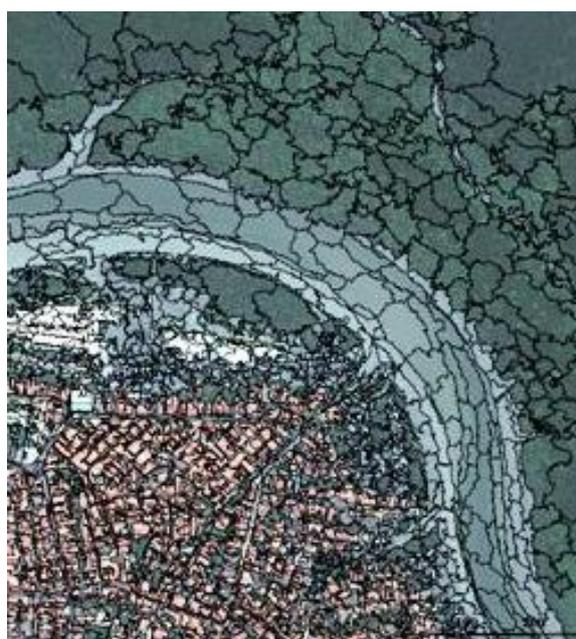


Figura 4 – Segmentação com InterIMAGE.

Após a avaliação dos atributos da cena, bem como da árvore de decisão gerada, executou-se a classificação final da cena (Figura 5), destacando-se a área coberta por manguezais. Considerando a matriz de confusão, encontrou-se um índice *Kappa* de 0,93 para o mapa gerado. As precisões do Produtor e do Usuário obtidas para as classes de cobertura da terra encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Precisão do Produtor e Usuário

Classes de cobertura da terra	Precisão do Produtor	Precisão do Usuário
Ruas	0,94	0,86
Apicum	0,82	0,74
Canal de maré	0,78	0,70
Telha cerâmica	0,92	0,64
Telha de fibrocimento	0,75	0,57
Telha de metal	0,66	0,64
Mangue	0,95	0,96
Não-mangue	0,82	0,84

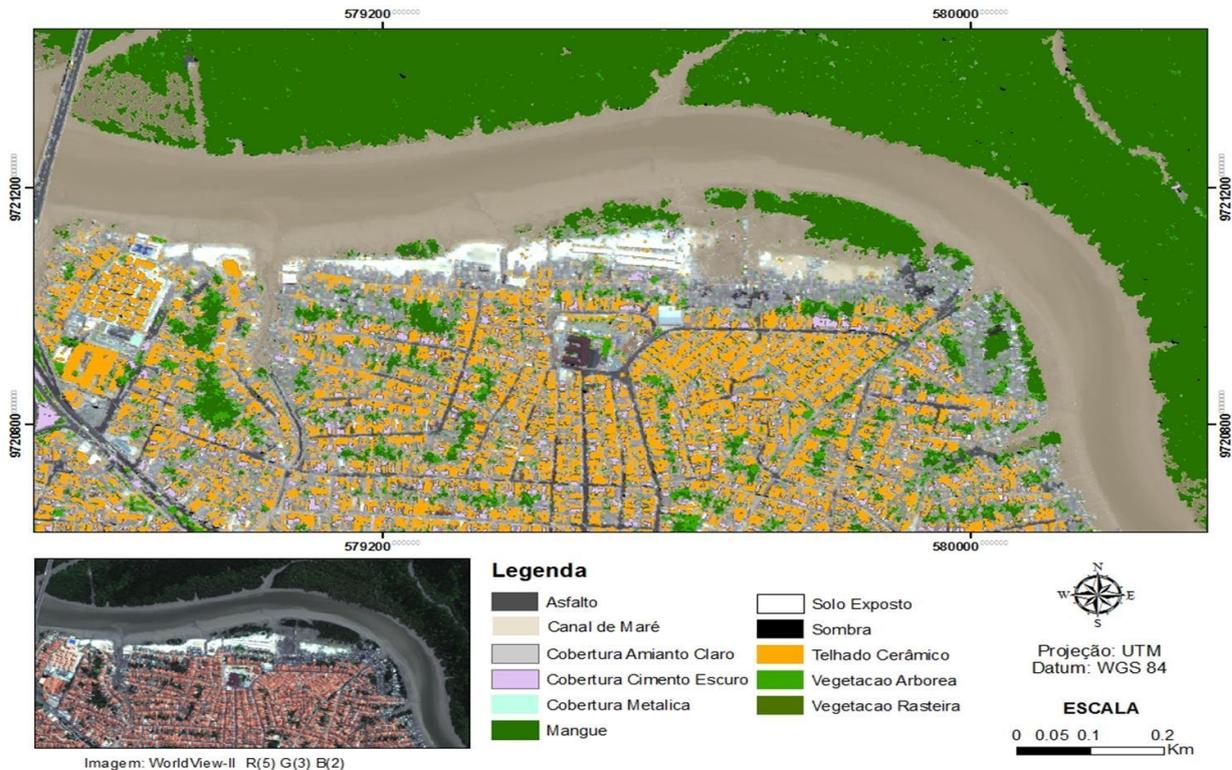


Figura 5 – Classificação final da área teste.

Os atributos de textura implementados no InterIMAGE v1.27 foram usados para a classificação, considerando as suas diferenças entre as várias classes consideradas. O resultado da classificação foi otimizado pelo fato dos atributos dos canais Amarelo e Borda Vermelha (*Red Edge*) terem melhor definição, eliminando confusões que no passado ocorriam com as classes Telha cerâmica e Solo nu.

Na classificação observa-se que as classes *Apicum* e Mangue confundem-se espectralmente. Não obstante, aplicando-se o NDVI, tais alvos são discriminados, especialmente pela utilização do canal Borda Vermelha, uma inovação no *WorldView-2*. Isto ocorre pelo fato deste canal estar posicionado espectralmente no final da faixa de absorção do vermelho e início do infravermelho para parte da vegetação. Desta forma este canal é sensível parcialmente ao comportamento espectral de diferentes tipos de vegetação desta região (Figura 6).

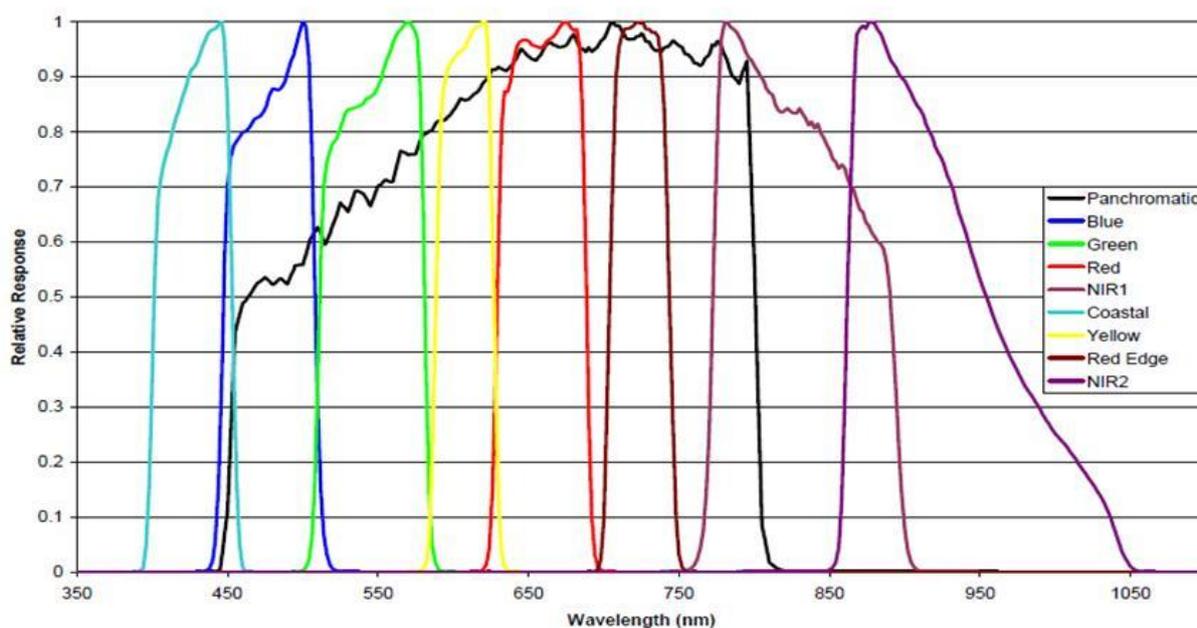


Figura 6 - Resposta espectral dos canais do *WorldView-2*.
Fonte: DIGITALGLOBE, 2010.

4. Conclusão

Os dados do sistema *WorldView-2* facilitaram a identificação de diferentes tipos de vegetação, incluindo as florestas de mangue, em função das novas bandas multiespectrais agora disponíveis. A combinação da resolução espacial e espectral permite uma discriminação mais precisa entre os alvos mapeados, permitindo maior detalhamento em mapas de cobertura da terra.

A utilização dos aplicativos *InterIMAGE* (classificação de imagem) e do *GeoDMA* para a elaboração de uma árvore de decisão permitiu uma classificação rápida, a partir de atributos de imagem otimizados, usando o algoritmo de textura implementado no *InterIMAGE*, possibilitando a discriminação da classe Mangue.

5. Referências bibliográficas

- BLASCHKE, T., Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 65, p. 2-16, Aug. 2010.
- BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H., 2007. **Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**: Oficina de Textos, São Paulo, 2ª ed. 303 p.
- CARVALHO, M.V.A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens *WorldView-2* utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. URL do documento original: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3ACT3BL>>
- COSTA, G. A. O. P. **A knowledge-based approach for automatic interpretation of multivariate remote sensing data**. 2009. 149 p. PhD-Thesis in Electric Engineering – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2009.
- DIGITALGLOBE. White Paper – **The benefits of the 8 Spectral Bands of *WorldView-II***. March 2010. Disponível em: <http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf>

GERCO. GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 1998. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense – diagnóstico ambiental da micro-região da aglomeração urbana de São Luís: estudo socioeconômico e cultural**. São Luís: Coordenadoria de Programas Especiais/Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro.

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

KORTING, T. S. **GeoDMA: a toolbox integrating data mining with object-based and multi-temporal analysis of satellite remotely sensed imagery**. 2012. 119 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.31.18.22-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CCH86S?languagebutton=pt-BR>>

MOCHEL, F.R.C, 2006. 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.

PCI GEOMATICS ENTERPRISES INC, 2010. PCI Geomatica-10, version 10.3.1. Richmond Hill, Ontario, Canada.

PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. Tese para a obtenção do título de Doktor-Ingenieur autorizada pela área de Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação da Universidade de Hannover (Alemanha). Tradução do alemão por Dr. Hermann J.H. Kux, (INPE) Prof. Dr. Raul Q. Feitosa (PUC-Rio), revisão por MSc. Gilson A.O.P. da Costa, em 2008, 95 p. Disponível: <<http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/documentation/files/Martin%20Pahl%20Thesis.pdf>>

RIBEIRO, B.M.G., 2010. **Avaliação de Imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Disponível em: <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/08.03.12.52.20/doc/Dissertacao_BMGR_final.pdf>.

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, Uruguai, **Anais... XII EGAL, 2009**. Trabalhos completos, p. 2415-2430. CD-ROM, Online. ISBN 78-14-00012-3. Disponível em: <<http://www.egal2009.com/>>

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**. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 2012, 136 p. URL do documento original: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8>>

TOUTIN, T.; Review article: geometric processing of remote sensing images: Models, Algorithms and Methods. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 25 (10), 1893-1924, May 2004.

WITTEN, I.H.; FRANK, E. HALL, M.A. , 2011. **Data mining – practical machine learning tools and techniques** (2nd ed.). Morgan Kaufmann, San Francisco. 558 p.