

Avaliação de diferentes imagens e algoritmos para o mapeamento do uso e cobertura da terra do Campus da Universidade Federal do Amazonas

Wallace de Freitas Teixeira¹
Eduardo Pinheiro da Silva²
Hermann Johann Heinrich Kux³

¹ Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM/MN
Avenida do Turismo, 1350, Tarumã Manaus - AM, 69049-630
wallace.teixeira@sipam.gov.br

¹ Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Av. Gen. Otávio Rodrigo Ramos, 3000. Manaus, AM, Brasil
pinheiro@ufam.edu.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
hermann@dsr.inpe.br

Abstract. The objective of this study is to evaluate images acquired by different remote sensing systems (airborne and orbital) and compare different algorithms for image classification and mapping of vegetation and land use on the Campus of UFAM (Federal Amazonas University) in Manaus, Amazonas State, Brazil. To map the vegetation and land use, initially a literature review was performed. We used a radar image (R99/SAR SIPAM) and an optical image (WorldView-2/DIGITALGLOBE) and the software SPRING and InterIMAGE respectively. Tests of image classification methods were made (Pixel-by-pixel procedure and region mapping at SPRING, considering K-Means, Isoseg, Maximum Likelihood, Maxver Iterated Conditional Modes and Bhattacharyya Distance, and the Object-oriented concept at InterIMAGE (C 4.5 - algorithm used to generate a decision tree). The methodology applied to process images and field data collection was adequate to evaluate the different remote sensing images. The values obtained in the tests for the classification of WorldView-II images were more satisfactory when using Region classifiers (SPRING). The classifiers used in this study are not applicable to radar images. This explains the poor result with the R99/SAR SIPAM images. The use of InterIMAGE system is adequate for the vegetation and land use classification with high resolution multispectral images.

Palavras-chave: High spatial resolution, SPRING, InterIMAGE, Amazon, Alta resolução espacial, Amazônia.

1. Introdução

Na cidade de Manaus/AM, os incentivos fiscais por parte do governo levaram à criação da Zona Franca na década de 1960, com objetivo de crescimento social e econômico da região (CARNEIRO, 1998). A população que era de 311 mil habitantes no ano de 1970 passou para aproximadamente 1,8 milhões em 2010 (IBGE, 2010). Este crescimento populacional ocorreu, principalmente, na área urbana. A cidade de Manaus está localizada na Amazônia Central, em área antes ocupada por floresta. Atualmente, a cidade ainda mantém alguns fragmentos florestais resultantes da ocupação. Esses fragmentos abrigam diversas espécies de animais e vegetais, além de nascentes de recursos hídricos, portanto é de fundamental importância sua conservação.

O Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) está inserido em um desses fragmentos florestais. Ainda que seja um setor com grande interesse ecológico e social, apenas no ano de 2012 foi inserido numa Área de Proteção Ambiental - APA UFAM, criada pelo Decreto nº 1503 de 27 de março de 2012, localizada na zona centro-sul da cidade de Manaus, reúne 759,15 ha formado pelos fragmentos florestais do INPA, UFAM, Parque Lagoa do Japiim e área verde do Conjunto Acariquara.

Para Neto et al (2001), o planejamento e monitoramento de áreas protegidas, devido as diversas variáveis que compõe o ambiente, possui alta complexidade. As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas que podem auxiliar em tomadas de decisão, uma vez que permitem uma visão sinóptica da paisagem. Neste contexto, avaliou-se que a elaboração de mapas temáticos que mostrem a situação da vegetação e do uso da terra do Campus, pode ser uma fonte de informação importante para o planejamento e tomada de decisão por parte de seus gestores, bem como auxiliar no avanço desses estudos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar imagens obtidas por diferentes sensores remotos (aerotransportado e orbital) e comparar diferentes algoritmos para a classificação de imagens e mapeamento da vegetação e do uso da terra no Campus da UFAM.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado na área do Campus da Universidade Federal do Amazonas, localizado na cidade de Manaus/AM, entre as coordenadas geográficas S 03°04'40,64" a S 03°06'57" e WGr 59°59'02,79" a WGr 59°57'3,12".

Antes do mapeamento da vegetação e do uso da terra foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as formações vegetais e uso da terra. Os dados cartográficos e de sensoriamento remoto, utilizados para o mapeamento foram: Mapa de vegetação do Campus da UFAM - Manaus/1990; Base cartográfica em escala 1:10.000, com os dados de curvas de nível, hidrografia, sistema viário e limite de bairros, disponibilizada pelo Exército Brasileiro;

- Imagem do sensor R99/SAR SIPAM de junho de 2009, na banda L, nas polarizações HH, VV, VH e HV; Imagem do sensor *WorldView-II* de 10/07/2010, nos modos pancromático, com resolução espacial de 0,5 m e multiespectral com resolução de 2,0 m. Bandas espectrais: *Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge, Near Infra-Red 1 (NIR-1)* e *Near Infra-Red 2 (NIR-2)*, Softwares SPRING e InterIMAGE.

Inicialmente foram feitas composições coloridas das imagens, com o intuito de identificar as melhores combinações para distinção das classes de interesse, a saber; vegetação e uso da terra. Para melhorar a identificação das feições e o detalhamento dos alvos analisados, foi realizada uma fusão (ADAMI et al, 2007) das imagens *WorldView-II*, entre a banda pancromática e as 8 bandas espectrais. O registro da imagem foi realizado através da identificação de pontos de controle no terreno, coletados com o sistema DGPS geodésico da marca Ashtech® e modelo ProMark2TM e GPS de navegação.

Foram realizados testes de classificação das imagens *WorldView-II* e R99/SAR SIPAM, utilizando-se os métodos de classificação pixel-a-pixel e por região do SPRING (K-Médias, Isepeg, Máxima Verossimilhança - MAXVER, *Iterated Conditional Modes* - MAXVERICM e a Distância *Bhattacharyya*) e o paradigma de classificação orientada a objeto do InterImage (C 4.5 - algoritmo usado para gerar árvore de decisão). Além de testar as imagens e os softwares utilizados neste estudo, a classificação automática foi usada para gerar o mapa de vegetação e uso da terra no Campus da UFAM. Para a avaliação dos resultados obtidos com os testes dos diferentes algoritmos, utilizou-se o coeficiente *Kappa* (LANDIS; KOCH, 1977). Como verdade de campo, foram utilizadas 119 amostras obtidas na imagem por interpretação visual da imagem *WorldView-II* fusionada (Figura 2). Além disso, foram realizados levantamentos de campo dentro e no entorno do Campus da UFAM e verificados os principais usos e coberturas da terra.

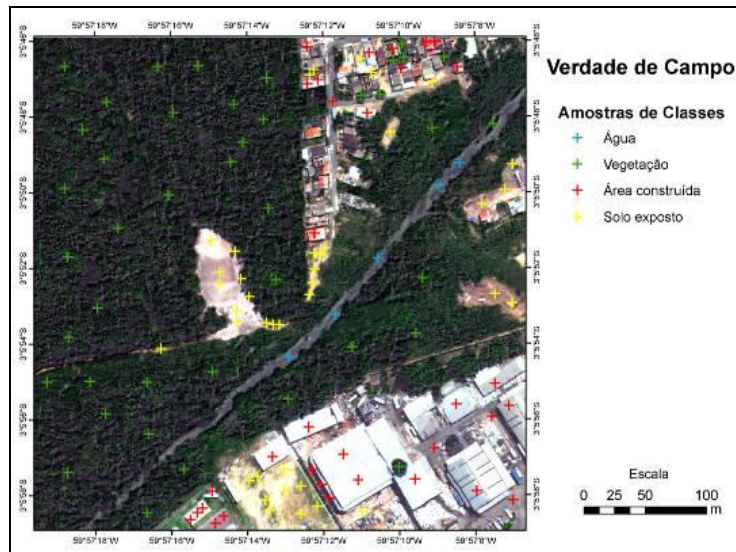


Figura 2. Distribuição dos pontos utilizados como verdade terrestre.

3. Resultados e Discussão

A fusão das imagens do sistema *WorldView-II* permitiu uma melhoria adicional da resolução espacial das bandas multiespectrais de originalmente 2 m, 0,5 m, ou seja igual aquela da banda pancromática. Esta técnica melhorou a distinção dos alvos na imagem (casas, ruas, vegetação isolada) facilitando a coleta das amostras, aprimorando a percepção da geometria dos alvos, parâmetro importante para a classificação orientada a objeto (Figura 3).

Diversas composições coloridas das imagens *WorldView-II* foram testadas para facilitar a distinção dos alvos e das classes analisadas nessa pesquisa. A banda 8 (Infravermelho 2) aplicada no canal vermelho (R) apresentou excelente resposta para a classe Vegetação (Figura 4).



Figura 3. Diferença de resolução espacial entre a imagem *WorldView-II* multiespectral (a) e a mesma imagem após a fusão com a banda pancromática (b).

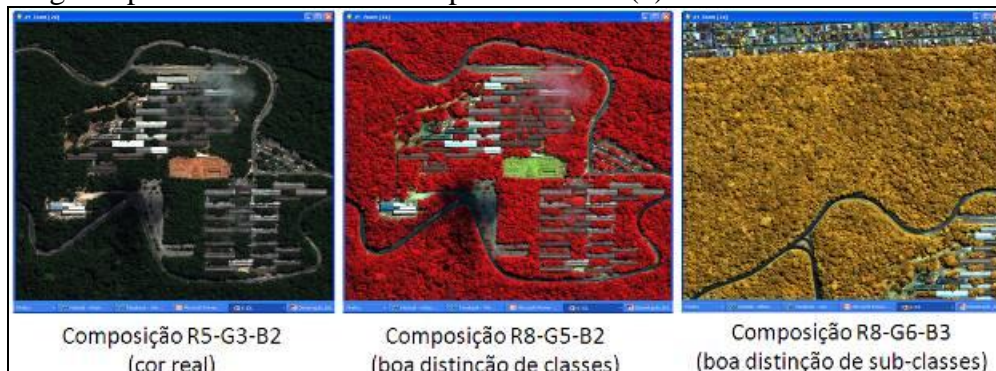
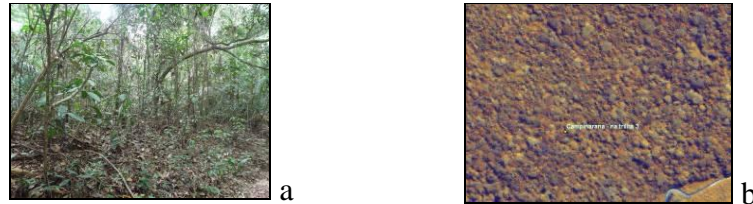


Figura 4. Exemplos de composições coloridas com imagens WorldView-II.

Algumas classes de vegetação foram identificadas durante as coletas de dados de campo, de acordo com o método fisionômico-ecológico (IBGE, 2010). Uma das feições observadas na vegetação apresentou características próprias de campinarana (Figura 5a). Foram registradas as coordenadas do local para que posteriormente, em laboratório, pudesse ser feita uma comparação com as feições na imagem *WorldView-II* correspondente à aquela área. Na análise visual da imagem porém não foi possível diferenciar as classes de vegetação, ou seja, separar campinarana de floresta secundária (Figura 5).

Figura 5. a) Campinarana observada durante os trabalhos de campo na área da UFAM; b) Imagem *WorldView-II* do Campus da UFAM.

Para comparar os diferentes algoritmos para o procedimento de classificação pixel-a-pixel e aquele orientado a objeto para a classificação da imagem *WorldView-II*, o primeiro procedimento foi a seleção de bandas espectrais e para tanto foi empregada a análise por matriz de correlação (Tabela 4). As bandas 8 e 7 apresentam correlação inversa baixa (negativas) em relação as bandas 1 e 2. Já as bandas 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam correlação direta alta entre si.

Tabela 4. Matriz de correlação das bandas espectrais do satélite *WorldView-II*.

Correlação	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
Banda 1	1,00	0,98	0,95	0,91	0,89	0,49	- 0,03	- 0,07
Banda 2	0,98	1,00	0,97	0,93	0,91	0,53	- 0,02	- 0,04
Banda 3	0,95	0,97	1,00	0,96	0,95	0,64	0,10	0,07
Banda 4	0,91	0,93	0,96	1,00	0,98	0,64	0,05	0,02
Banda 5	0,89	0,91	0,95	0,98	1,00	0,61	0,02	0,00
Banda 6	0,49	0,53	0,64	0,64	0,61	1,00	0,75	0,73
Banda 7	- 0,03	- 0,02	0,10	0,05	0,02	0,75	1,00	0,97
Banda 8	- 0,07	- 0,04	0,07	0,02	0,00	0,73	0,97	1,00

Assim, neste trabalho foram utilizadas as bandas 8 (*NIR-2*), 6 (*Red-edge*) e 5 (*Red*), que apresentaram menor correlação entre si. Para aplicação dos classificadores foi escolhida uma área teste localizada no setor leste do Campus da UFAM. A escolha dessa área foi motivada pelo fato da mesma apresentar todas as classes temáticas de interesse, a saber: água, vegetação, área construída e solo exposto.

Após a aplicação dos diferentes classificadores sobre os diversos produtos gerados a partir das imagens SAR e *WorldView-II*, calculou-se os índices de estatística *Kappa* para cada um deles. Obteveram-se 18 resultados para diferentes abordagens de classificação (Figura 9). Os três melhores resultados do índice *Kappa* foram 0.8189, 0.8186 e 0.8068, respectivamente para as classificações MAXVER FUSÃO, MAXVER-ICM FUSÃO E MAXVER 865, sendo todos classificadores do SPRING e aplicados às imagens do *WorldView-II* (Figura 9). A Figura 10 mostra os três mapas temáticos gerados após a classificação.

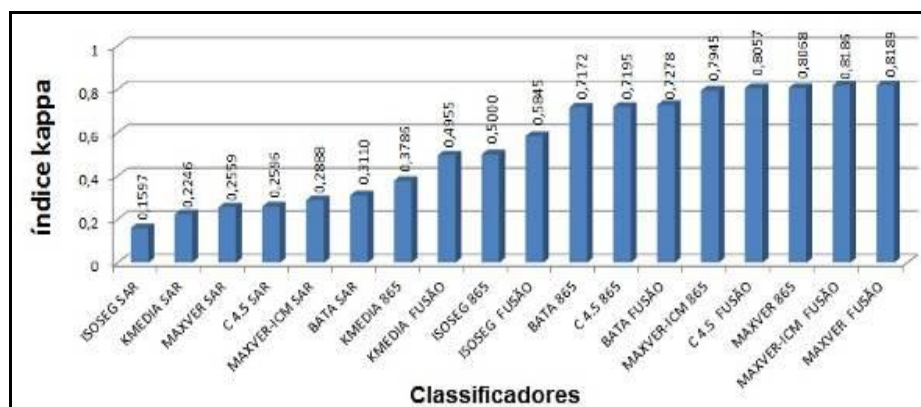


Figura 9. Índice Kappa para diferentes classificadores.

Nos resultados da Figura 10 as maiores confusões aconteceram entre as classes *solo exposto* e *área construída*. Isto se deve ao fato dos alvos serem constituídos por materiais semelhantes (areia e argila) e, portanto suas respostas espectrais são parecidas. Algumas *sombras* foram confundidas com a classe *água*, pois ambas apresentam respostas espectrais fracas. A partir dos três melhores resultados obtidos nas classificações, foi feito o cálculo de área por classe temática, com o objetivo de avaliar as diferenças entre as classificações (Tabela 5).

Tabela 5. Resultado do cálculo de área para as três melhores classificações.

Classes	Classificadores/Imagem	Área (ha)
Água	MAXVER FUSÃO	0.64
	MAXVER-ICM FUSÃO	0.57
	MAXVER 865	0.51
Vegetação	MAXVER FUSÃO	11.14
	MAXVER-ICM FUSÃO	11.20
	MAXVER 865	11.04
Área Construída	MAXVER FUSÃO	2.49
	MAXVER-ICM FUSÃO	2.48
	MAXVER 865	2.59
Solo Exposto	MAXVER FUSÃO	1.74
	MAXVER-ICM FUSÃO	1.75
	MAXVER 865	1.86

Comparando os resultados contidos na Tabela 5, as classificações que apresentaram resultados mais semelhantes foram MAXVER FUSÃO e MAXVER-ICM FUSÃO. Ambos usaram imagem *WorldView-II* com fusão de bandas. A classe analisada que apresentou a maior proximidade no cálculo de área com os classificadores MAXVER FUSÃO e MAXVER-ICM FUSÃO foi ÁREA CONSTRUÍDA, com diferença de apenas 0,0046 ha.

A classificação da imagem *WorldView-II* (fusão de bandas) com o algoritmo C4.5 do InterImage também apresentou um resultado bastante satisfatório, com índice Kappa 0.8057, sendo o quarto melhor resultado nos testes realizados (Figura 11).

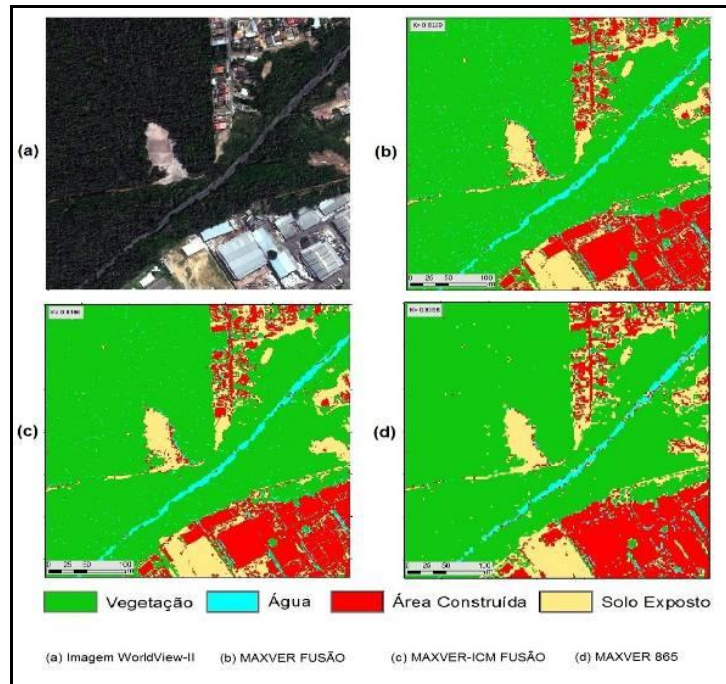


Figura 10. Resultado das três melhores classificações.

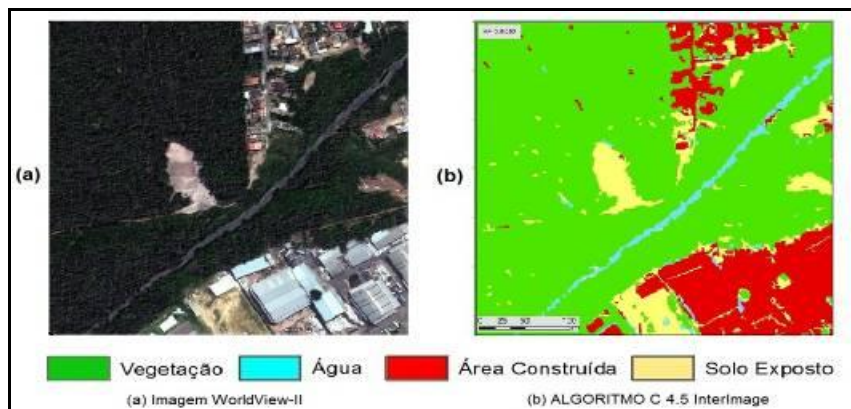


Figura 11. Resultado da melhor classificação do Algoritmo c 4.5 do InterImage.

Nos resultados da Figura 11 a classe *área construída* foi confundida com algumas sombras nas áreas de vegetação, solo exposto e água. Isto se deve ao fato de que foram colhidas amostras de asfalto dentro da classe *área construída*, o que pode ter causado tal confusão. O asfalto apresenta tons de cinza escuros, assim como a *sombra* e a *água*.

A classificação da imagem Radar R99/SAR SIPAM não apresentou resultados satisfatórios com os métodos e classificadores utilizados nessa pesquisa. O melhor valor obtido em relação ao índice *Kappa* foi 0,3110, utilizando o classificador *Bhattacharya* do SPRING (Figura 12).

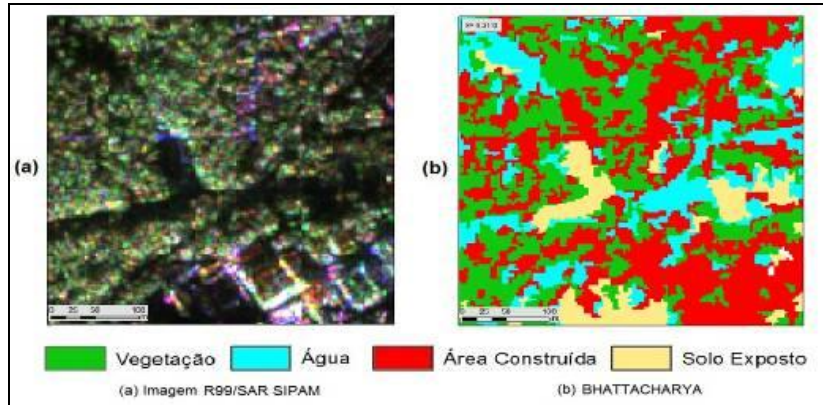


Figura 12. Resultado da melhor classificação obtida da imagem Radar R99/SAR SIPAM.

Esse resultado obtido da classificação da imagem Radar R99/SAR SIPAM pode ser atribuído a grande quantidade de sombras e ruídos presente no recorte (parte mais escura na imagem) utilizado para os testes, o que pode ter contribuído para a confusão entre as classes. Em seus trabalhos Costa (2011) conseguiu bons resultados na classificação das imagens do Radar R99/SAR SIPAM, chegando a 0,77 de índice *Kappa*. Para tanto utilizou correção de padrão de antena, filtros para eliminar o ruído *Speckle*, filtro *Gamma 3x3* e o classificador SVM (*Support Vector Machine*), ou seja, ferramentas do software ENVI. Como um dos objetivos dessa pesquisa foi testar softwares livres (SPRING e InterImage) essas ferramentas do ENVI não foram utilizadas nas imagens SAR.

Após a avaliação das imagens do Radar R99/SAR SIPAM e do satélite WorldView-II e realizados os testes com os classificadores do SPRING e InterImage, foi utilizado o melhor resultado obtido como base para confeccionar um mapa de vegetação e uso da terra na área do Campus da UFAM. Para sua elaboração foi utilizado um recorte da imagem WorldView-II (Bandas 8, 6 e 5 + Pancromática) e o classificador MAXVER do SPRING. As classes definidas para o mapa temático (Figura 13) foram as mesmas utilizadas nos testes anteriores: água, vegetação, área construída e solo exposto.

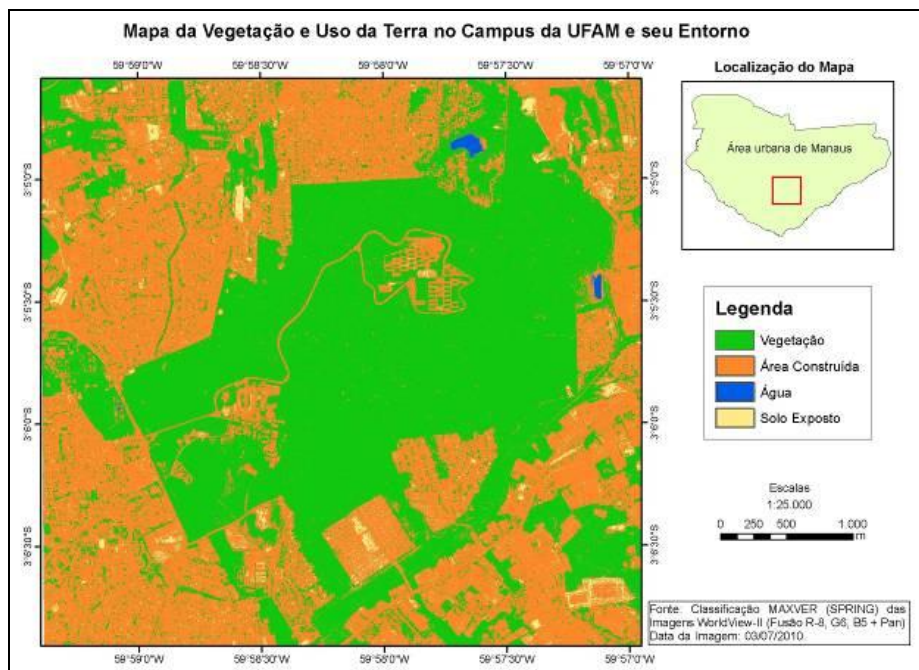


Figura 13. Mapa temático gerado a partir da classificação MAXVER (SPRING) da imagem WorldView-II.

Mesmo utilizando poucas classes para o mapeamento, o resultado apresentado na Figura 13 foi considerado satisfatório, pois conseguiu separar as duas classes predominantes nessa área: VEGETAÇÃO e ÁREA CONSTRUÍDA. Contudo, quando analisado em detalhe o mapa da Figura 13, há muito efeito de “*salt-and-pepper*”.

4. Conclusões

A metodologia aplicada através do processamento das imagens e coleta de dados em campo mostrou-se adequada para avaliar as diferentes imagens de sensores remotos.

Os valores obtidos nos testes de classificação automática das imagens do satélite *WorldView-II* mostraram-se mais satisfatórios com classificadores por região (SPRING).

Os classificadores utilizados nessa pesquisa não são destinados às imagens de radar, o que explica o resultado não satisfatório com as imagens do Radar R99/SAR SIPAM.

O uso do sistema InterIMAGE para a classificação da vegetação e o uso da terra com imagem multiespectral de alta resolução espacial mostrou ser adequado para este produto de sensoriamento remoto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que financiou a pesquisa a partir do Processo 475180/2010-0. Ao CENSIPAM/MN que disponibilizou a imagem R99/SAR e a DigitalGlobe que disponibilizou a imagem *WorldView-II*.

Referências Bibliográficas

Adami, M.; Deppe, F.; Rizzi, R.; Moreira, M. A.; Rudorff, B. F. T.; Fonseca, L. M. G.; Faria, R. T.; Freitas, C. C.; D'Arco, E. *Fusão de imagens por IHS para identificação de uso e cobertura do solo em elementos amostrais*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 1-8. CD-ROM.

Almeida, W. S.; Souza, N. M. *Avaliação das informações espectrais dos dados WorldView 2/Digital Globe para classificação temática de uso e cobertura do solo*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011.

Carneiro, A. Manaus: Fortaleza extrativismo – cidade, um histórico de dinâmica urbana amazônica. Espaço e doença: Um olhar sobre o Amazonas. p. 161-165, 1998.

Costa, J. A. L. *Avaliação de dados de radar do sensor SAR-R99B no mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Central, município de Manaus, AM*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal do Amazonas, 2011.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). Censo Demográfico. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: Nov.2010.

InterIMAGE, 2010. InterIMAGE – Interpreting Images Freely. <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/> (acessado em 18.11.11).

Jensen, J.R. *Remote Sensing of the Environment. An Earth Resources Perspective*. Upper Saddle River: Prentice Hall Inc., 544 p., 2000.

Landis, J.; Koch, G.G. *The measurements of observer agreement for categorical data*. *Biometrics*, v. 33, n. 3, p. 159-179, 1977. 31.

Lopes, G, O; Lima, C, L. *Características e aplicações das imagens SAR na identificação de alvosa Região Amazônica*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto, Nata, Brasil, 25-30 abril 2009. p. 7323-7330.

Neto, A.S.; Brites, R.S.; Soares, V.P.; Ribeiro, J.C. Subsídios para elaboração de um plano de manejo do Parque Grande Sertão Veredas por meio de Sistemas de Informações Geográficas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 493-502. CD-ROM.