

Avaliação da potencialidade de imagens MSS na caracterização e mapeamento da cobertura vegetal de várzea da planície amazônica

Vivian Fróes Renó
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo
Leila Maria Garcia Fonseca
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/OBT
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{vivianfr, evlyn}@dsr.inpe.br; leila@dpi.inpe.br

Abstract. The purpose of this study is to assess the potential of the Landsat MSS data to accurately map the vegetation cover of the Amazon floodplain and to evaluate the use of image restoration technique to improve classification accuracy. The restoration algorithm is applied to MSS images, resulting in three sets of Landsat data (original MSS, restored MSS and original TM). The image sets are submitted to different segmentation and classification algorithms. The classified images are compared both visually and statistically. Although the results showed no significant differences between restored and original MSS data, good kappa values were obtained for all classification methods. The best classification results were derived from the hierarchical classification method, yielding a more reliable land cover distribution map for the section of Amazon floodplain under study.

Palavras-chave: Amazon floodplain, image classification, restoration algorithm, planície amazônica, classificação de imagem, algoritmo de restauração.

1. Introdução

As florestas inundáveis da bacia amazônica são ecossistemas ricos em recursos naturais e de grande importância ecológica, econômica e social. Um dos mapas mais recentes (1996) sobre a cobertura vegetal da várzea dos rios Amazonas\Solimões (Hess et al., 2003) aponta uma grande diferença entre a região à montante da confluência do Amazonas\Solimões com o rio Negro e a região à jusante. À montante de Manaus, as Florestas Inundáveis dominam a paisagem das várzeas, enquanto que à jusante, a vegetação é predominantemente herbácea e arbustiva. Como vários autores relatam o desflorestamento da várzea nessa região para a comercialização da madeira e para a agricultura da juta, é de se supor que a diferença identificada na cobertura vegetal não seja apenas devido a fatores naturais, mas tenha também um componente importante de interferência antrópica. Para a comprovação desta hipótese, torna-se necessário recuperar informações sobre a cobertura vegetal da várzea do Rio Amazonas/Solimões anteriores à década de 1980. Esses dados permitirão avaliar a evolução do processo de desflorestamento em Áreas Alagáveis, visto que o grande esforço de monitoramento sempre foi centrado em Terra Firme.

Estudos recentes (Renó e Novo, 2008) utilizaram imagens do sensor Multispectral Scanner Subsystem (MSS), da série de satélites Landsat, para o mapeamento da cobertura vegetal de várzea da planície do Lago Grande de Curuai (PA), referente ao ano de 1977. O sensor MSS possui imagens disponíveis desde 1973, com uma resolução espacial nominal de 80 m e quatro bandas espectrais distribuídas na região do visível e infravermelho próximo. Além da disponibilidade de imagens antigas e com resolução espacial adequada, o sensor MSS possui uma faixa de imageamento (185 km) que possibilita o estudo de áreas amplas e de difícil acesso. O sensor MSS, porém, possui algumas restrições para o monitoramento da cobertura vegetal, como sua baixa resolução radiométrica (6 bits), a largura e o mal posicionamento de suas bandas espectrais e a falta de bandas na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), as quais, segundo literatura, aumentam o número de classes passíveis de serem discriminadas espectralmente (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Apesar de muitos estudos terem utilizado imagens MSS para o mapeamento e caracterização do uso e cobertura do solo (Tardin et al., 1980; Gervin et al., 1985; Skole e Tucker, 1993), o lançamento do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do Landsat-4, acarretou numa grande diminuição da utilização dos dados MSS por parte da comunidade científica. Na época em que foi lançado pela primeira vez, em 1982, o sensor TM foi um sistema avançado de varredura multiespectral, de resolução espacial mais fina (30 m), maior número e melhor posicionamento das bandas espectrais (sete bandas incluindo uma no SWIR), maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica (8 bits) em relação ao sensor MSS (Novo, 2008). Atualmente, após 26 anos de continuidade dos dados TM, pode-se dizer com base em inúmeros trabalhos (Townshend et al., 1995; Câmara et al., 2006; Hansen et al., 2008) que este sensor possui grande potencial na caracterização e mapeamento de diversos tipos de cobertura do solo, sendo um dos sensores mais utilizados para estes fins. Alguns aspectos importantes a serem analisados são o quanto as diferenças tecnológicas do sensor MSS em relação ao TM, podem influenciar na obtenção de informações sobre a cobertura do solo, e como as técnicas de processamento digital de imagens podem contribuir para melhorar o desempenho das imagens MSS na caracterização dos processos e das feições da superfície.

Dentro desse contexto, o presente trabalho objetiva avaliar a potencialidade dos dados MSS na caracterização e mapeamento da cobertura vegetal de várzea do Rio Amazonas/Solimões no estado do Pará, tendo como referência dados do sensor TM. Como objetivos específicos, pretende-se: 1) analisar a efetividade de um algoritmo de restauração em melhorar o mapeamento de diferentes classes de cobertura em imagens MSS/Landsat e; 2) identificar como diferentes métodos de classificação de imagens afetam a discriminação das classes de cobertura vegetal pré-definidas, tendo como base um produto TM classificado pelo mesmo método. Os resultados obtidos permitirão um maior conhecimento sobre a confiabilidade dos dados MSS na obtenção de informações sobre a cobertura vegetal de várzea da planície amazônica.

2. Área de Estudo

A área de estudo está situada ao sul da cidade de Santarém, no estado do Pará, entre os paralelos 2° 6' 41" s e 2° 28' 50" s e entre os meridianos 55° 3' 42" o e 54° 43' 47" o. Inclui uma porção da planície de inundação do rio Amazonas/Solimões e sua confluência com o rio Tapajós.

Esta região foi escolhida por ser uma área representativa das condições ambientais da planície de inundação do médio Amazonas e, principalmente, pela disponibilidade de duas cenas de mesma data e de diferentes sensores (MSS e TM), fundamentais para a realização deste trabalho.

2. Metodologia

Duas imagens da mesma área (órbita/ponto 227/62) foram adquiridas: uma imagem MSS e outra TM, ambas referentes à mesma data (08/04/1986). Além disso, foi obtida da base de dados Global Land Cover Facility (<http://glfc.umiacs.umd.edu>), uma imagem ETM+ ortoretificada que serviu como imagem de referência para o registro das demais.

Uma das fases de processamento da metodologia usada neste trabalho é a técnica de restauração. Esta técnica consiste em estimar uma imagem original que sofreu um processo de degradação radiométrica inserida pelo sensor e, a partir daí, aplicar o processo inverso do fenômeno de degradação (Fonseca et al., 1988, Boggione, 2003). As imagens degradadas durante o processo de formação apresentam um aspecto borrado devido ao sensor atuar como um filtro passa-baixas, eliminando ou atenuando o conteúdo das altas frequências, que são exatamente aquelas relacionadas com os detalhes na imagem. Assim, após a restauração, a imagem

processada apresenta um aspecto realçado, onde as feições lineares (bordas, ruas, pistas de aeroportos) aparecem mais nítidas.

Neste trabalho, usamos o algoritmo desenvolvido por Fonseca, et al. (1993). Este algoritmo permite a combinação da técnica de restauração com a técnica de interpolação de imagens, de tal forma que a saída é uma imagem restaurada em uma grade mais fina do que a grade da imagem de entrada. No nosso caso, optamos por manter uma grade de 80 metros por não ser interessante o aumento da resolução espacial da imagem para o tipo de aplicação aqui proposto, e devido à intenção de utilizar um valor de grade maior ou igual a 80 metros em trabalhos futuros.

Nessa fase de restauração, cada banda é processada independentemente. Portanto, usamos três conjuntos de imagens: MSS original (b4, b5, b6 e b7), MSS restaurada (b4, b5, b6 e b7) e TM original (b1, b2, b3, b4, b5, b6 e b7). Em seguida, realizamos o registro dos três conjuntos de imagens através da aquisição de pontos de controle no modo Imagem-Imagem, tendo como referência a imagem ETM+ ortorretificada.

Além das bandas espectrais de cada conjunto, novos atributos foram gerados a partir da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e da transformação IHS. Da aplicação do MLME obteve-se os atributos **fração-solo**, **fração-sombra** e **fração-vegetação** (Shimabukuro e Smith, 1991). A transformação IHS gerou as componentes **intensidade** (I), **matiz** (H) e **saturação** (S) (Tseng e Chang, 1994).

A eficácia da utilização de imagens MSS na identificação e mapeamento da cobertura vegetal de várzea foi testada através da aplicação de rotinas de segmentação e classificação nos três conjuntos de imagens, a fim de gerar mapas temáticos com as seguintes classes: **Água**, **Solo Exposto**, **Floresta**, **Vegetação Alagada** e **Vegetação Herbácea**.

As imagens fração resultantes do MLME foram segmentadas utilizando dois métodos distintos de segmentação:

1) O método de segmentação por crescimento de regiões implementado no software SPRING (CÂMARA et al., 1996), por meio do qual somente regiões espacialmente adjacentes e de características espectrais semelhantes podem ser agrupadas. Para realizar esse processo de segmentação é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, que é a diferença mínima entre os níveis de cinza da imagem para a definição de uma borda entre áreas e; b) o limiar de área, valor de mínima dimensão, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada. Nessa etapa usamos os limiares de similaridade 6 e de área 12 (MSS) e 32 (TM), definidos empiricamente após a aplicação de alguns testes.

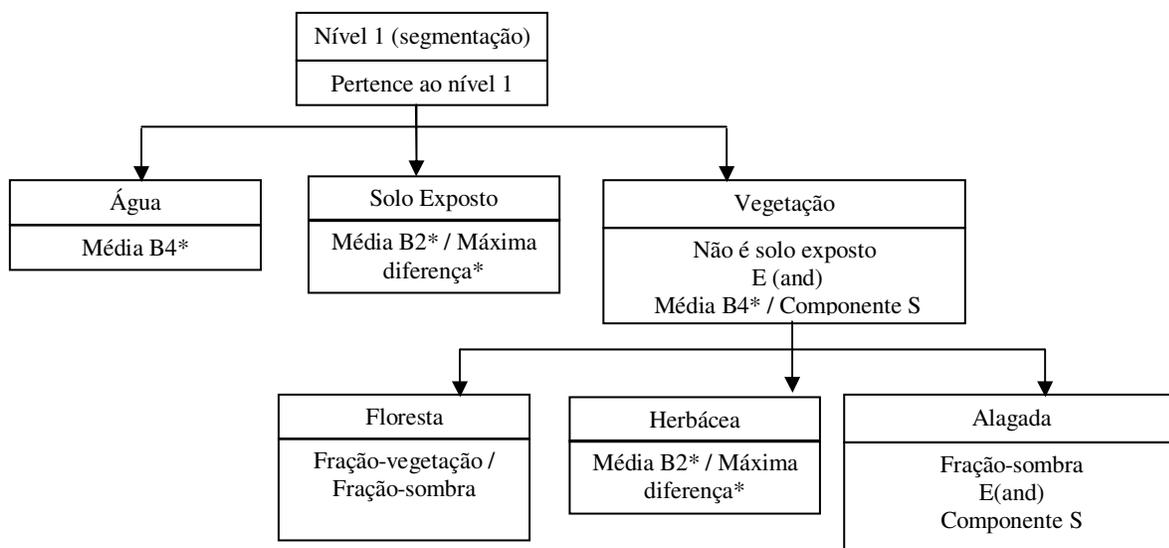
2) A segmentação multi-resolução ou multiresolutiva do software Definiens (Definiens, 2003), onde são observadas diferenças tanto com relação aos fatores utilizados para seu processamento quanto aos resultados que envolvem segmentações em diferentes escalas e níveis, compondo uma estrutura hierárquica de segmentos. O fato de serem utilizados fatores de forma e topológicos durante o processamento deste tipo de segmentação faz com que seja gerada uma relação mais próxima entre os objetos do mundo real e os da imagem, aumentando assim a confiabilidade do resultado final (Benz et al., 2004). Nessa fase foram utilizados os parâmetros de escala de 20 (MSS) e 25 (TM), o fator de forma de 0,3 e o de compacidade de 0,5. Tais fatores foram definidos de forma empírica, realizando-se sucessivas segmentações com valores de parâmetros distintos, sendo escolhidos os valores que geraram segmentos mais significativos para a delimitação das feições de interesse.

No processo de classificação, as imagens segmentadas e diferentes atributos foram usados como entrada das três técnicas de classificação: 1) não-supervisionada (ISOSEG) (Bins et al., 2002), a qual leva em consideração os atributos estatísticos das regiões, dentro de certos limiares de aceitação pré-determinados, para a definição de diferentes temas; 2) classificação supervisionada

baseada no algoritmo de Bhattacharya (Mascarenhas e Velasco, 1984), que usa as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes definidas e avalia, para cada região, a distância de Bhattacharya entre a classe candidata e a região a ser classificada e; 3) classificação Hierárquica (Árvore de Decisão), na qual o processo de classificação dos objetos é efetuado por meio de regras de decisão (Safavian e Landgrebe, 1991).

Nas duas primeiras técnicas de classificação (ISOSEG e Bhattacharya) utilizamos um limiar de aceitação de 90%. Os segmentos obtidos pelo método de crescimento por regiões e o atributo fração-vegetação foram usados no processo de segmentação. Esta escolha foi realizada empiricamente através de testes e por serem os melhores resultados obtidos para a nossa aplicação.

No classificador por Árvore de Decisão, cada classe é representada por uma folha da árvore e dois fatores devem ser levados em consideração: quais atributos serão utilizados para diferenciar cada classe e que regra de decisão será adotada para a separação das classe. Nesse trabalho, as regras de decisão e os atributos utilizados na caracterização de cada classe foram definidos empiricamente e são apresentadas na figura 1. Os segmentos utilizados foram os obtidos a partir da segmentação baseada em multi-resolução, e a regra de decisão adotada baseou-se em funções de pertinência *Fuzzy* para associar os objetos às classes.



* Para maiores informações sobre este atributo consultar Definiens (2003).

Figura 1 - Regras de classificação e atributos utilizados na caracterização das classes de cobertura.

Ao final dessa etapa 9 imagens classificadas foram geradas: 3 para cada conjunto MSS, MSS-restaurada e TM. Para estimar a concordância entre as classificações, o índice kappa entre as imagens classificadas de mesmo grupo foi calculado. Posteriormente, foi realizado o teste de hipótese de igualdade entre os valores de kappa do mesmo grupo de classificação.

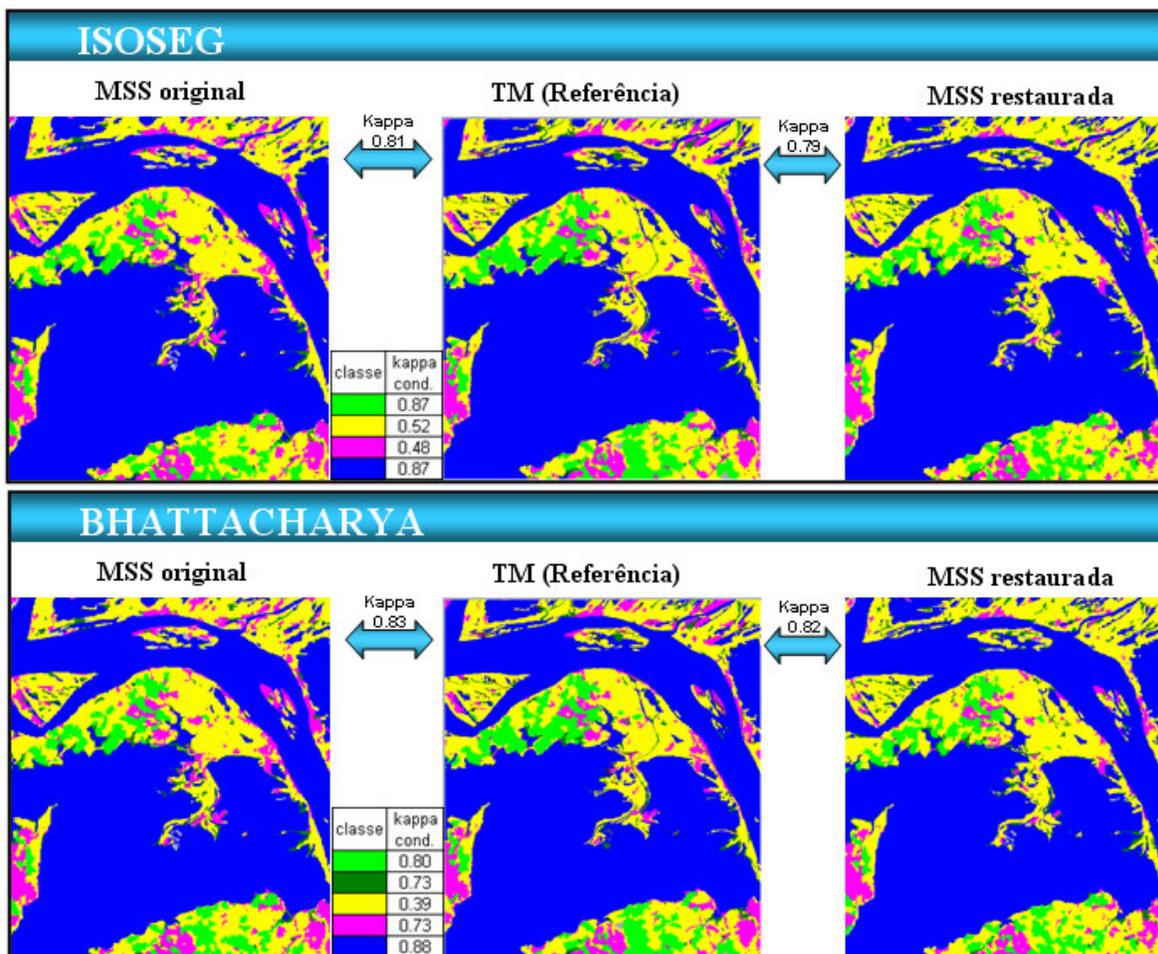
3. Resultados e Discussões

A figura 2 ilustra o resultado da restauração da imagem MSS/Landsat. Pode-se observar pequenas diferenças entre as imagens MSS original e restaurada. A imagem restaurada apresenta uma melhor definição de bordas e a amplificação do ruídos presente na imagem original (pixels isolados).



Figura 2 - Comparação entre imagens MSS original e sua restauração.

As imagens classificadas resultantes dos três processos de classificação, e os índices kappa das imagens MSS (original e restaurada) em relação à imagem TM de referência podem ser observadas na figura 3. Além do índice kappa geral, os índices kappa parciais de cada classe entre TM e MSS de maior índice geral são também apresentados. Os índices parciais entre TM e MSS de menor índice geral foram omitidos por serem muito similares aos apresentados.



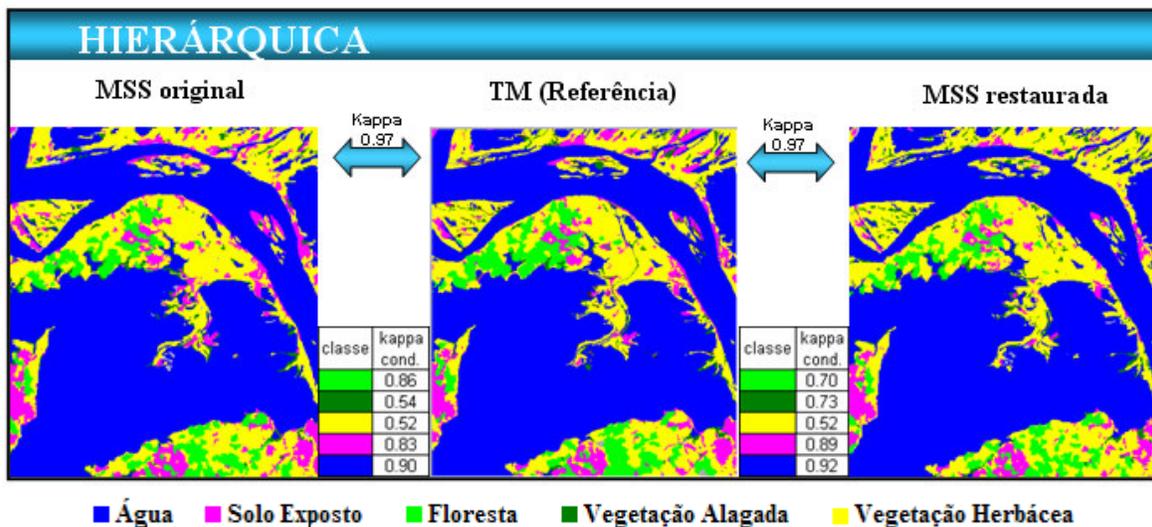


Figura 3: Resultado da classificação utilizando os classificadores: ISOSEG, Bhattacharya e Hierárquico.

Os testes de hipótese de igualdade entre os kappas mostraram que, com 95% de confiança, os kappas do mesmo grupo de classificação não são significativamente diferentes. Apesar de o teste de hipótese indicar que não há diferenças significativas entre as classificações da MSS original e restaurada, o kappa parcial das classes e a análise visual dos mapas resultantes nos permitem fazer algumas observações. Na imagem restaurada classificada pelo método ISOSEG houve uma superestimação das áreas de floresta. Este fato é visível nos mapas resultantes e também é confirmado pelo kappa parcial da classe **Floresta**, igual a 0,26 na MSS restaurada e 0,87 na MSS original. Outro fato importante a ser relatado é que, apesar de um índice de concordância relativamente alto nesse tipo de classificação, o algoritmo não foi capaz de diferenciar as áreas de vegetação alagada, não tendo sido possível a identificação desta classe no mapa final.

Na classificação Bhattacharya houve superestimação das áreas de vegetação alagada na imagem restaurada. Essa superestimação é visualmente perceptível no mapa resultante e confirmado pelo kappa parcial da classe **Vegetação Alagada**, com valores iguais a 0,27 e 0,73 para as imagens restaurada e original, respectivamente. Apesar de apresentar um índice de concordância geral maior que o método anterior, muitas áreas da imagem não foram classificadas. Outra desvantagem em relação ao método não-supervisionado é o tempo de processamento e de aquisição de amostras de treinamento do algoritmo.

O melhor desempenho foi obtido pelo classificador Hierárquico, que apresentou um índice kappa de 0,97 para ambas as imagens MSS. Analisando o kappa parcial das classes de vegetação, por serem de maior interesse nesse trabalho, observou-se uma maior concordância da classe **Floresta** na imagem original. O contrário, porém, ocorre com a classe **Vegetação Alagada**, onde o kappa parcial foi maior para a imagem restaurada, não havendo diferenças entre os kappas parciais da classe **Vegetação Herbácea**.

Dentre os atributos analisados, os que apresentaram maior potencial na discriminação das classes de interesse foram: Banda 2, Banda 4, Máxima diferença, Componente S, Fração-vegetação, e Fração-sombra. Enfatizamos que, nesse trabalho, a seleção dos melhores atributos para cada classe foi feita de maneira empírica, mas que existem algoritmos que podem ser utilizados nesta tarefa e que estão dentro de nossos objetivos em trabalhos futuros.

Para os três classificadores, as imagens MSS restauradas apresentaram desempenho inferior às imagens originais. Este resultado, porém, deve ser melhor investigado, pois não é esperado que

o processo de restauração provoque mudanças de radiometria nas áreas internas das regiões, já que o filtro de restauração atua nas feições de altas frequências, como bordas. No entanto, a presença de ruído na imagem pode ter interferido nos resultados, pois este está presente nas altas frequências e o processo de restauração atua como um filtro passa-altas. Isso pode ter contribuído para diminuir o desempenho dos algoritmos de classificação na identificação dos diferentes tipos de vegetação. Com base nisso, alguns testes de filtragem passa-baixas (filtro da mediana) foram realizados nas imagens MSS restauradas, obtendo-se bons resultados visuais. Futuramente, novos testes de classificação devem ser realizados para a avaliação dos resultados.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que as imagens MSS/Landsat possuem grande potencial na caracterização e mapeamento da cobertura vegetal de várzea da planície amazônica. Mesmo com a falta da banda espectral no infravermelho de ondas curtas (SWIR), foi possível mapear as feições de interesse com um índice de concordância alto nos três métodos de classificação utilizados.

A aplicação do algoritmo de restauração na imagem MSS não produziu melhores resultados em relação à imagem MSS original classificada, devido à amplificação do ruído existente nas imagens. Uma solução para esse problema seria a aplicação de um filtro passa-baixas da mediana, que suaviza a imagem sem contudo diminuir sua resolução.

Nos três algoritmos de classificação utilizados foram obtidos bons resultados de concordância kappa. A classificação Hierárquica foi a que melhor representou as classes pré-estabelecidas, obtendo um alto índice de concordância kappa para ambas as imagens MSS. Outro fator a ser considerado é o tempo gasto no processamento e na seleção de amostras e atributos. Nesse quesito, o algoritmo ISOSEG foi o que obteve melhor resultado. No entanto, a não identificação de uma das classes temáticas (Vegetação Alagada) por parte desse classificador o desqualifica para esse tipo de estudo. O método Bhattacharya, apesar do melhor índice de concordância kappa em relação ao ISOSEG, é o que menos se qualifica para o mapeamento de grandes áreas de várzea. Além de muitas áreas não terem sido classificadas pelo algoritmo, o tempo gasto na aquisição de amostras de treinamento e na classificação da imagem torna o seu uso inviável. Os melhores resultados de classificação foram obtidos pelo método Hierárquico. Além do método permitir a criação de novos atributos e a seleção de atributos mais apropriados para a caracterização de cada classe, a rede hierárquica permite o estabelecimento de relações de hereditariedade entre as classes - como a subdivisão da classe “vegetação” em subclasses de tipos distintos de vegetação.

5. Referências

Benz, U. C.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingerfelder, I.; Heynen, M.: Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, p. 239-258. 2004.

Bins, L.S., Erthal, G.J, Fonseca, L.M.G. Um método de classificação não supervisionada por regiões. In: SIBGRAPI, 6., Recife, 1993. **Anais...**, 1993. p. 65-68.

Boggione, G. A. **Restauração de imagens do satélite Landsat-7**. 2003. 160 p. (INPE-10462-TDI/929). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/08.19.08.48>>. Acesso em: 30 out. 2008.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, p.395-403. 1996.

Câmara, G. Valeriano, D. M.; Soares, J. V.. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desflorestamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. 24 p.

Definiens. **eCognition**: user guide 3. Germany, 2003, 480 p. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>. Acesso em: 02 ago. 2008.

Embrapa monitoramento por satélite – CNPM. Brasil visto do espaço: Amazônia Legal. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/aa/index.htm>>. Acesso em: 20 Jun. 2008.

Fonseca, L.M.G. **Restauração e interpolação de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. São José dos Campos. 148 p.(INPE-6628-TAE/30). Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 1988.

Fonseca, L.M.G.; Prasad, G.S.S.D.; Mascarenhas, N.D.A. Combined interpolation – restoration of Landsat images through FIR filter techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 13, p. 2547-2561, 1993.

Gervin, J. C.; Kerber, A. G.; Witt, R. G.; Lu, Y. C.; Sekhon, R. Comparison of level I land cover classification accuracy for MSS and AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, p. 47–57, 1985.

Hansen, M; Roy, D. P.; Lindquist, E., Adusei, B.; Justice, C. O.; Altstatt, A. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change and preliminary results for Central Africa, **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2495-2513, 2008.

Hess, L. L.; Melack, J. M.; Novo, E. M. L. M.; Barbosa, C. C.; Gastil, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.87, p.404-428, 2003.

Mascarenhas, N.D.D.; Velasco, F.R.D. **Processamento Digital de Imagens**. São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística - USP, 1984.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. v. 01. 363 p.

Ponzoni, F. e Shimabukuro, Y. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. v. 1. 140 p.

Renó, V. F e Novo, E. M. L. M. Utilização de imagens MSS/ILandsat para o mapeamento da cobertura florestal da planície do Lago Grande de Curuai, PA. In: XIII SELPER, Havana, Cuba, 2008.

Safavian, S. R. e Landgrebe, D. A Survey of Decision Tree Methodology. **IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics**, vol. 21, n. 3, 1991.

Shimabukuro, Y.E. e Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.29, n.1, p.16-20, 1991.

Skole, D. e Tucker, C. Evidence for Tropical deforestation, fragmented habitat, and adversely affected habitat in the Brazilian Amazon: 1978–1988. **Science**, v. 260, p. 1905–1910, 1993.

Tardin, A.T.; Lee, D.C.L. , Santos, R.J.R.; de Assis, O.R.; dos Santos Barbosa, M.P.; de Lourdes Moreira, M.; Pereira, M.T.; Silva, D. & dos Santos Filho, C.P. Subprojeto Desmatamento: **Convênio IBDF/CNPq-INPE 1979**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1980. 44 p. (INPE-1649-RPE/103).

Tseng, D.C. e Chang, C.H. Color segmentation using UCS perceptual attributes. National Science Council, 1994. **Proceedings**vol. 18, no 3, pp. 305-314, 1994.

Townshend, J.R.G., V. Bell, A. Desch, C. Havlicek, C. Justice, W. L. Lawrence, D. Skole, W. Chomentowski, B. Moore III, W. Salas and C.J. Tucker . The NASA Landsat pathfinder humid tropical deforestation project. In: ASPRS conference, Sept. 1995, Vienna, VA. **Proceedings**...,1995, p. 76-87.