

Aplicação de diferentes métodos de classificação supervisionada de imagem Landsat-5/TM na identificação de cana-de-açúcar

Carlos Antonio da Silva Junior¹
Vitor Matheus Bacani²

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS
Caixa Postal 25 - 79200-000 – Aquidauana - MS, Brasil
carlos-junior89@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS
Rua Oscar Trindade de Barros, nº 740, Serraria - 79200-000 – Aquidauana – MS, Brasil
vitor@cpaq.ufms.br

Abstract. The sugar-cane, from the family species *Saccharum officinarum* is grown in tropical climates, especially in areas where the seasons are well defined (dry winter and rainy summer). This agriculture is of great importance for the country's economy, Brazil is the world's largest producer of that crop. However, sugar-cane cultivation has favorable characteristics for identification in satellite images because it is a semi-perennial crop, grown in large areas. The objective of this work was to evaluate the performance of supervised classifiers for identifying the culture of sugar-cane using satellite images of Landsat-5 sensor Thematic Mapper (TM). The study area is located northwest from the city of Maracajú-MS, Brazil. We propose a suitable method of classification and image processing to map where there is the cultivation of sugar-cane. Treatments were made to restore the image with spatial resolution of 15 meters and radiometric correction+NDVI. In the rankings, we used the Maxver-ICM algorithm and Bhattacharya. The different pre-processing and classifiers applied were subjected to statistical validation using parameters Kappa and overall accuracy. The results indicated a significant potential for supervised classifiers in the identification of sugar-cane. It was concluded that it is possible to obtain accuracies qualified as very good when used the Maximum Likelihood-ICM classifier in both methods of treatment.

Palavras-chave: remote sensing, Bhattacharya, Maxver-ICM, *Saccharum* spp., accuracy, sensoriamento remoto, Bhattacharya, Maxver-ICM, *Saccharum* spp., exatidão.

1. Introdução

A cana-de-açúcar, da família das gramíneas da espécie *Saccharum officinarum* é cultivada em clima tropical, principalmente nas áreas onde as estações são bem definidas (inverno seco e verão chuvoso), o período de floração dessa cultura acontece no outono e seu período de colheita no inverno e no Estado de Mato Grosso do Sul seu cultivo tem maior concentração no centro-sul.

As imagens representam formas de captura indireta de informação espacial, obtidas por meio de satélites, fotografias ou scanners aerotransportados, onde cada *pixel* tem um valor proporcional à reflectância do solo para a área imageada.

O Landsat é um satélite amplamente utilizado, pois tem uma grande série temporal de dados. Os primeiros satélites da família Landsat foram equipados com o MSS (*Multispectral Scanner*) com quatro bandas de 80 m de resolução. Mais tarde o Landsat 4 e 5 ganharam o sensor TM (Cunha, 2009).

Contudo, a cultura da cana possui características favoráveis de identificação nas imagens de satélite por ser uma cultura semiperene, cultivada em extensas áreas (Rudorff et al., 2004).

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um método eficiente de tratamento digital de imagem e testar sua eficácia com classificadores supervisionado em imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat-5 para o monitoramento de colheita da cana-de-açúcar.

2. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no Estado de Mato Grosso do Sul, na porção noroeste do município de Maracajú (Figura 1), e possui uma área de aproximadamente 577 km², tratando-se de uma área cujo cultivo predominante é o de cana-de-açúcar.

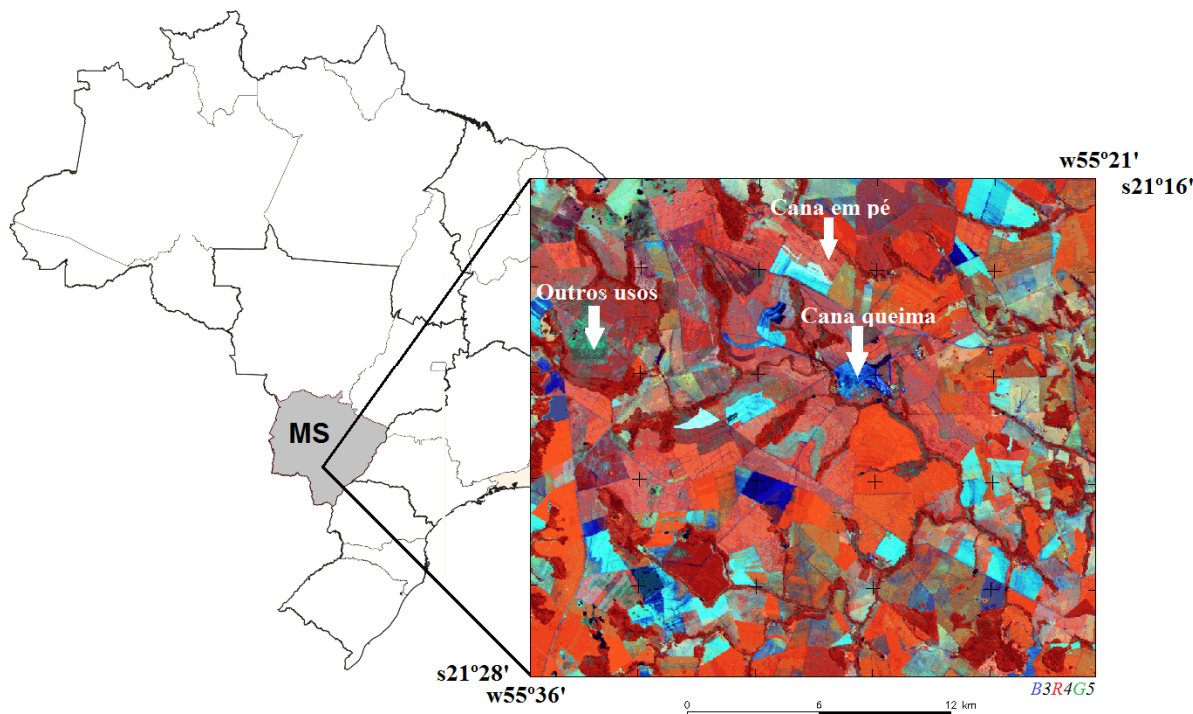


Figura 1. Imagem de 12 de abril de 2010 obtida pelo sensor TM/Landsat-5 da área de estudo.

Os procedimentos metodológicos constituíram-se na aplicação de diferentes rotinas de tratamento digital de imagem, conforme descritas em Novo (2008) e Jensen (2009), que podem ser sintetizadas em três principais etapas: a) Pré-processamento, b) Realce e, c) Classificação. O aplicativo de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 5.1.4), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Após a correção geométrica, a imagem foi submetida a dois tratamentos diferenciados: restauração e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), os quais deram origem a dois Planos de Informação (PI's), com as seguintes características: 1) imagem restaurada; 2) imagem não restaurada, com correção radiométrica e NDVI. Em seguida, aplicou-se para cada PI as classificações supervisionadas por *pixel* e por regiões.

A imagem submetida às diferentes rotinas de tratamento digital foi obtida gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.dgi.inpe.br/CDSR), com órbita 225 e ponto 75, gerada em 12 de abril de 2010. Esta cena foi devidamente registrada, a partir de uma imagem do mesmo satélite e sistema sensor, ortorretificada, com datum WGS 1984 e projeção UTM, obtida no site da NASA (<http://glcf.umd.edu/index.shtml>) (GLCF, 2004), utilizando o polinômio de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo. O erro médio quadrático (RMS: *Root Mean Square*) foi inferior a 0,5 *pixel* (Daí e Khorram, 1998).

Após a correção geométrica, aplicou-se o método da restauração de imagens, que consistiu na transformação da resolução espacial original de 30 x 30 metros para 15 metros (Fonseca, 1988). Em seguida, efetuou-se o realce de contraste linear, pois foi o que melhor apresentou uma discriminação visual dos alvos. Os PI's resultantes da restauração e contraste linear, foram diretamente submetidos aos classificadores supervisionados (por *pixel* e por

regiões). O esquema exposto na Figura 2 ilustra a metodologia utilizada desde a aquisição das imagens até a classificação final, onde foram gerados os mapas temáticos.

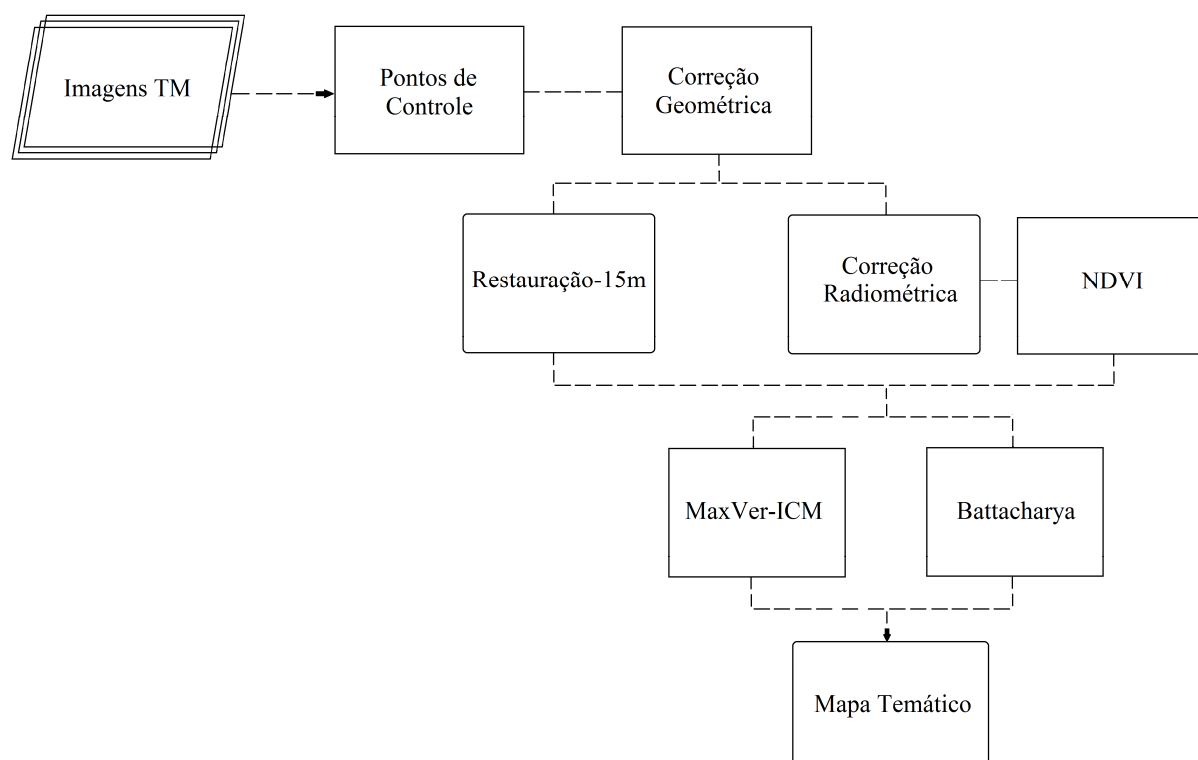


Figura 2. Esquema ilustrativo da metodologia utilizada para geração de mapa temático.

Os PI's corrigidos geometricamente e não restaurados foram submetidos à correção radiométrica, implementada em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), segundo Robinove (1982) e aprimorada por Markhan e Baker (1986). Por conseguinte, executou-se a detecção dos índices de vegetação da área mapeada, empregando-se o NDVI. Segundo Moreira e Shimabukuro (2004), na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação, sendo quase todos obtidos de medidas de reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Portanto, para a aplicação do NDVI, utilizou-se a Equação 1.

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho_{\text{ivp}} - \rho_{\text{v}})}{(\rho_{\text{ivp}} + \rho_{\text{v}})} \quad (1)$$

em que ρ_{ivp} = reflectância no infravermelho próximo; ρ_{v} = reflectância no vermelho.

Após os devidos tratamentos aplicados na imagem já composta (3B4R5G), foi aplicada a classificação supervisionada *pixel a pixel*, apoiada no algoritmo da Máxima Verossimilhança-ICM (*Iterated Conditional Modes*) (Equação 2) e a por crescimento de regiões, cujos limiares de similaridade e área (*pixels*) definidos pelo método exploratório foram, respectivamente, 16 e 45 (OLIVEIRA, 2002), implementados no algoritmo *Bhattacharya* (Equação 3).

$$P_c = [-0,5 \log_e(\text{Det}(V_c))] - [0,5(X - M_c)^T (V_c)^{-1} (X - M_c)] \quad (2)$$

em que X = vetor de medidas dos pixels desconhecidos; P_c = probabilidade de o vetor X ser assinalado na classe c ; V_c = matriz de covariância da classe c contemplando todas as bandas (K, \dots, L); $\text{Det}(V_c)$ = determinante da matriz de covariância V_c ; M_c = vetor das médias para cada classe c ; e T = matriz transposta.

$$B(p_i, p_j) = \frac{1}{2}(m_i - m_j)^T \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (m_i - m_j)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}} \quad (3)$$

em que B = distância de *Bhattacharya*; P_i e p_j = pixels nas classes i e j ; m_i e m_j = médias das classes i e j ; T = matriz transposta; \ln = logaritmo neperiano; e i e j = classes dentro do contexto.

Os classificadores *pixel a pixel* utilizam apenas as informações espectrais de cada pixel para achar regiões homogêneas, enquanto que os classificadores por regiões utilizam a informação espectral de cada pixel mais a informação espectral que envolve a relação com seus vizinhos (Cunha, 2009).

O classificador por *pixel* Maxver-ICM baseia-se em critérios de média, variância e covariância. Enquanto o classificador Maxver associa classes considerando pontos individuais da imagem, o classificador Maxver-ICM (*Iterated Conditional Modes*) considera também a dependência espacial na classificação, assim, a classe atribuída depende tanto do valor observado nesse *pixel*, quanto das classes atribuídas aos seus vizinhos.

A classificação *Bhattacharya*, trabalha com a distância que é utilizada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidade dessas classes (INPE, 2006).

Para cada um dos classificadores, as classes mapeadas foram: *Cana Queima (CQ)*, onde já foi realizada a queima da palha para a colheita manual; *Cana em Pé (CP)*, onde ainda não se deu o início da colheita; e *Outros Usos (OU)*, que classifica tudo o que não é cana-de-açúcar, como água, solo exposto, vegetação, outras culturas. No treinamento foram adquiridos mais de 5.000 *pixels* para as classes *CQ* e *CP* e >100.000 *pixels* para *OU*, onde foram pré-estabelecidas visualmente de acordo com trabalho realizado por Aguiar et al. (2009b). A avaliação do desempenho dos classificadores empregados em diferentes métodos de tratamento digital de imagens foi executado apoiando-se na utilização do índice de concordância *Kappa* (Equação 4) e Exatidão Global (Equação 5) a partir de 60 pontos amostrais (*pixels*) como referência.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (4)$$

$$\text{Exatidão}_{\text{global}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (5)$$

em que \hat{K} = valor estimado *Kappa*; k = número de linhas; x_{ii} = número de observações na linha i e coluna i ; $\sum_{i=1}^k x_{ii}$ = soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal; x_{i+} = soma total das observações para as linhas; x_{+i} = soma total das observações para as colunas; N = número de observações total.

Para auxiliar a análise da acurácia das classificações, os valores do índice *Kappa* foram comparados aos limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Qualidade da classificação associada aos valores da estatística *Kappa*.

Índice <i>Kappa</i>	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

3. Resultados e Discussão

O resultado das classificações obtidas conforme a verificação da *Cana Queima*, *Cana em Pé* e *Outros Usos*, estão apresentados na Figura 3. As classes *CQ*, *CP* e *OU* obtidas através da classificação *Bhattacharya* e com tratamento digital de imagem radiométrica+NDVI estão apresentadas na Figura 3A, e a apenas com a restauração para 15m de resolução espacial estão representadas na Figura 3B. O mesmo tratamento digital foi realizado para a classificação com o algoritmo da Máxima Verossimilhança (Maxver-ICM) apresentado na Figuras 3C e 3D.

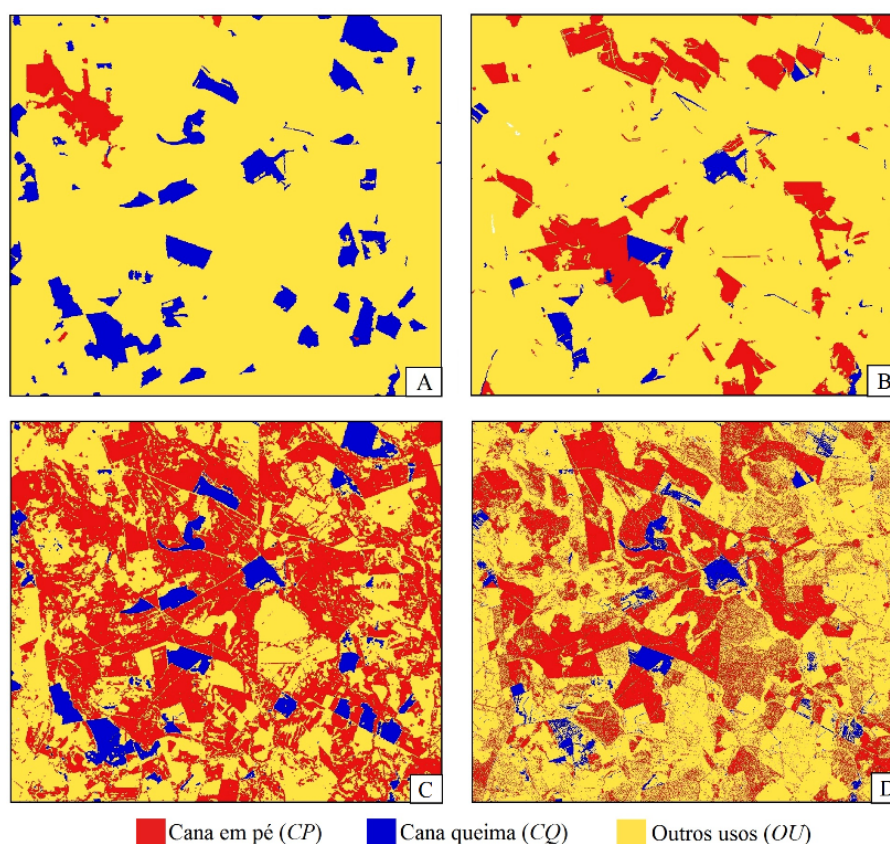


Figura 3. Mapas temáticos apresentando os tratamentos utilizados para os dois classificadores: radiometria+NDVI e restauração-15m, respectivamente ao *Bhattacharya* (A e B) e Maxver-ICM (C e D).

Não foi utilizado o tratamento de radiometria antes da restauração, pois a imagem obteve uma piora em relação aos *pixels*, havendo muitas distorções e deformando as áreas de interesse, o mesmo foi observado quando se testou restaurações de 5, 10 e 20m de resolução espacial.

A Tabela 2 apresenta o resultado da validação estatística *Kappa* e Exatidão Global. Os pontos amostrais adotados como verdade terrestre foram tomados da própria imagem sintética, a partir da interpretação visual.

Tabela 2. Qualidade das classificações aplicadas na verificação de *Cana Queima (CQ)*, *Cana em Pé (CP)* e *Outros Usos (OU)* associada aos valores da estatística *Kappa* (\hat{K}) e Exatidão Global (EG).

Referência						
<i>Radiométrica+NDVI - Bhattacharya</i>						
Classif.		Cana em pé	Cana queima	Outros usos	Σ	$\hat{K}=0,50$ EG=0,67
	Cana em pé	1	0	0	1	
	Cana queima	0	20	1	21	
	Outros usos	19	0	19	38	
	Σ	20	20	20	60	
<i>Restauração-15m - Bhattacharya</i>						
Classif.		Cana em pé	Cana queima	Outros usos	Σ	$\hat{K}=0,67$ EG=0,78
	Cana em pé	12	0	1	13	
	Cana queima	0	16	0	16	
	Outros usos	8	4	19	31	
	Σ	20	20	20	60	
<i>Radiométrica+NDVI - Maxver-ICM</i>						
Classif.		Cana em pé	Cana queima	Outros usos	Σ	$\hat{K}=0,80$ EG=0,87
	Cana em pé	20	0	4	24	
	Cana queima	0	17	1	18	
	Outros usos	0	3	15	18	
	Σ	20	20	20	60	
<i>Restauração-15m - Maxver-ICM</i>						
Classif.		Cana em pé	Cana queima	Outros usos	Σ	$\hat{K}=0,75$ EG=0,83
	Cana em pé	19	0	1	20	
	Cana queima	0	14	2	16	
	Outros usos	1	6	17	24	
	Σ	20	20	20	60	

Com relação ao tratamento digital, quando aplicado o NDVI na imagem radiométrica, neste caso, obteve-se bons resultados com o Maxver-ICM, apenas causando confusão entre a classificação de vegetação natural com a *Cana em Pé* (Figura 3C), pois ele tende a verificar, por verossimilhança, a qual padrão o talhão mais se assemelha (Aguiar et al., 2009a). Já na classificação utilizando o algoritmo *Bhattacharya* houve confusão principalmente em relação à classe *OU*.

Visualmente notam-se grandes áreas para classe *Cana em Pé* quando utilizado Maxver-ICM (Figura 3C), além de áreas significativas em relação a *Cana Queima*. Essa menor área identificada visualmente para *Cana Queima* quando relacionada à *Cana em Pé*, dá-se pela data da imagem, obtida de 12 de abril, no que se refere ainda ao início da colheita.

Em reflexo aos tratamentos aplicados à imagem na classificação de Máxima Verossimilhança-ICM, o desempenho mostrou-se excelente para *CQ*, *CP* e *OU*, onde o índice *Kappa* alcançou 0,80 e exatidão global de 0,87. Entretanto, quando aplicado a restauração no tratamento da imagem e novamente o classificador Maxver-ICM, obteve-se resultados satisfatórios, porém com desempenho reduzido, com índice *Kappa* de 0,75 (Tabela 2).

As classificações utilizando o algoritmo *Bhattacharya* apresentaram um índice de concordância *Kappa* entre 0,50 a 0,67, que segundo Landis e Koch (1977) podem ser classificadas como boa a muito boa. Esses resultados se deram pelo fato do processamento digital, onde o NDVI prejudicou na classificação.

A quantificação das áreas (ha) de *Cana Queima*, *Cana em Pé* e *Outros Usos*, está descrita na Tabela 3.

Estudos realizados por Leão et al. (2007) demonstram que para classificação de uso e cobertura da terra, o melhor resultado foi obtido quando aplicado o classificador *Bhattacharya*, utilizando imagens do sensor TM/Landsat e CCD/Cbers. Porém resultados apresentados na Tabela 2 mostram que para este estudo o melhor desempenho ocorreu quando utilizado o classificador Maxver-ICM.

Tabela 3. Áreas em hectares conforme o tratamento da imagem e tipos de classificadores.

Tratamento	Classificação	CQ	CP	OU
Restauração-15m	Maxver-ICM	2.118,33	20.188,39	35.930,99
	<i>Bhattacharya</i>	1.444,03	7.655,02	49.116,62
Radiométrica+NDVI	Maxver-ICM	3.901,95	27.797,22	26.543,07
	<i>Bhattacharya</i>	5.630,04	1.361,70	51.250,50

Na Tabela 3, pode-se observar uma discrepância entre os valores das áreas para o classificador Maxver-ICM e *Bhattacharya*, principalmente na classificação *OU*. Para a área de cana queima, o classificador *Bhattacharya* subestimou quando utilizado o tratamento de restauração na imagem, entretanto superestimando quando aplicado o NDVI. Já na área de cana em pé ocorreu o inverso, apresentando áreas menores apresentando confusão com áreas de outros usos.

4. Considerações Finais

Os resultados indicaram que a classificação Maxver-ICM mostrou melhores resultados quando submetida somente a correção radiométrica+NDVI e comparada à classificação *Bhattacharya* na identificação de cana-de-açúcar. A imagem classificada com *Bhattacharya* a partir da aplicação do NDVI apresentou-se como um método estatisticamente inferior. A restauração provocou um resultado contrário ao esperado por aumentar a variabilidade interna das classes ao aumentar a resolução espacial, ou seja, os objetos tornaram-se menos homogêneos e dificultaram a ação do classificador.

Referências Bibliográficas

Aguiar, D. A.; Adami, M.; Rudorff, B. F. T.; Sugawara, L. M.; Freitas, R. M. Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2009a. p.5547-5554.

Aguiar, D. A.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.440-451, 2009b.

Cunha, K. L. **Uso de imagens Landsat e CBERS no mapeamento da suscetibilidade à erosão na região de Primavera do Leste – MT**. 2009. 63f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. 2009.

Dai, X.; Khorram, S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.5, p.1566-1577, 1998.

Fonseca, L. M. G., **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica), 1988.

GLCF. **Geocover Technical Guide**. Produced by University of Maryland/USA, 2004. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/>>. Acesso em: 17/09/2010.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING: Tutorial de Geoprocessamento**. 2006. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 17/09/2010.

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672p.

Landis, J. R.; Kock, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

Leão, C.; Krug, L. A.; Kampel, M.; Fonseca, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2007. p.939-946.

Markhan, B. L.; Barker, J. L.: Landsat MSS and TM Post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures, **Eosat Landsat Tech. Notes**, 1, 3 - 7, 1986.

Moreira, M. A.; Shimabukuro, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR In: **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo, Oficina de Textos, 2004, cap.4: 79-101.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 363p. 2008.

Oliveira, J. C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura**. 2002. 160f. (INPE-9554-TDI/830). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Deposited in the URLib collection. São José dos Campos. 2002. Disponível na biblioteca digital. Acesso em: 29/09/2010. Online. URLib: <http://iris.sid.inpe.br:1912/rep-/sid.inpe.br/marciana/2003/03.05.15.25>.

Robinove, C. J. Computation with physical values from Landsat digital data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.48, p.781-784, 1982.

Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Moreira, M. A.; Duarte, V.; Rosa, V. G. C. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do Estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005**. São José dos Campos: INPE, 2004. 54p. (INPE-11421-RPQ/762).