

ROTINAS DE TRATAMENTO DIGITAL DE IMAGEM LANDSAT 5/TM PARA A IDENTIFICAÇÃO DE QUEIMADAS EM LAVOURAS CANAVIEIRAS

HANDLING LANDSAT 5/TM DIGITAL IMAGE TO IDENTIFY BURNED IN SUGARCANE PLANTATIONS

Carlos Antonio da SILVA JUNIOR¹; Vitor Matheus BACANI²; Laércio Alves de CARVALHO³

1. Engenheiro-Agrônomo, Mestrando em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Departamento de Agronomia, Bolsista CAPES, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, PR, Brasil. carlos-junior89@hotmail.com; 2. Professor Adjunto, Doutor em Geografia física, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, Aquidauana, MS, Brasil; 3. Professor adjunto, Doutor em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Dourados, MS, Brasil.

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de classificadores supervisionados e não-supervisionados para detecção automática de queimadas em canaviais utilizando imagens de satélite Landsat-5/TM. A área de estudo localiza-se na porção noroeste do município de Maracaju, MS, Brasil. Diferentes métodos de classificação e tratamento de imagem foram testados para mapear a colheita de cana com queima prévia de palha. As imagens foram tratadas com reamostragem para 15m, correção radiométrica e NDVI. Nas classificações, foram utilizados os algoritmos Maxver-ICM, *Bhattacharya* e ISOSEG. Os diferentes pré-processamentos e classificadores aplicados foram submetidos à validação estatística por meio dos parâmetros *Kappa* e exatidão global. Os resultados indicaram um expressivo potencial de classificadores supervisionados na identificação de queimadas de cana. Concluiu-se que é possível obter exatidões qualificadas como excelente quando empregado o classificador de Máxima Verossimilhança-ICM.

PALAVRAS-CHAVE: *Bhattacharya*. ISOSEG. Maxver-ICM. *Saccharum* spp. Sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar, *Saccharum* spp. (Poaceae), tem importância econômica e social no Brasil, especialmente nas regiões Sudeste e Nordeste, (CORRÊA et al., 2001).

No período compreendido entre 2005 e 2008, a área de cana-de-açúcar no Brasil sofreu uma expansão de 44,2%, aumentando de 6,1 para 8,7 milhões ha⁻¹. Atualmente, os principais Estados produtores de cana-de-açúcar e com expressiva expansão da área de cultivo na região Centro-sul do Brasil são: São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (AGUIAR et al., 2009a).

Conforme o mapeamento realizado pelo projeto CANASAT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (www.dsr.inpe.br/canasat), o Estado de Mato Grosso do Sul apresentou um considerável aumento de área plantada de cana-de-açúcar, com um aumento de 62% da safra de 2005/2006 para a safra de 2008/2009, concentrando maior expansão na região centro-sul do Estado.

Entretanto, problemas de ordem socioeconômica e ambiental têm atraído a atenção da sociedade para a cultura da cana-de-açúcar

(MORAES, 2007). A colheita da cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul estende-se de abril a novembro havendo como prática de pré-colheita a queima da palha para corte manual. Existe ainda a colheita mecanizada que preconiza o método de cana-crua, ou seja, sem queima prévia da palha.

A mecanização da colheita vem aumentando cada vez mais no Brasil, principalmente após a assinatura, em 2007, do Protocolo Agroambiental entre a Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) para o Estado de São Paulo, que definiu o fim da colheita com queima progressiva até 2014 em áreas mecanizáveis (com declividade $\leq 12\%$) e até 2017, em áreas não mecanizáveis (declividades maiores que 12%).

O fato da preocupação com a colheita com queima e o incentivo do aumento da colheita mecanizada, se dá por causar danos à saúde humana e aos demais seres vivos, por deixar exposto o solo, havendo diminuição da matéria orgânica, aceleração de processos erosivos, redução da fertilidade do solo e a queda na produtividade, além da emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Imagens obtidas por sensores orbitais aliadas às técnicas de geoprocessamento

apresentam grande potencial para o monitoramento e definição do modo da colheita durante a safra (AGUIAR, 2007), pois o monitoramento em campo seria inviável devido à extensa duração da colheita.

Para Rudorff et al. (2004) a cana-de-açúcar possui características favoráveis a sua identificação, mapeamento e monitoramento por meio de imagens de sensores remotos a bordo de satélites, por ser uma cultura semi-perene e plantada em áreas de grande extensão. Para tal função, um exemplo seria o sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat-5, que tem a capacidade de recobrir o globo terrestre a cada 16 dias, com IFOV (*Instantaneous Field of View*) de 30 x 30 m (900 m²).

Elas são obtidas de forma sistemática e repetitiva, em faixas do espectro eletromagnético, que permitem diferenciar os alvos da superfície terrestre em função da sua resposta espectral (JENSEN, 2005). Neste contexto, quanto maior for a resolução temporal, maior será a probabilidade de se obter uma imagem livre de cobertura de nuvens (SANO et al., 2007).

O período de colheita da cana-de-açúcar no Estado de Mato Grosso do Sul ocorre, tradicionalmente, entre abril a novembro, o que favorece a obtenção de imagens livres de nuvens, permitindo um adequado monitoramento da colheita da cana via imagens de sensoriamento remoto.

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

MATERIAL E MÉTODOS

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

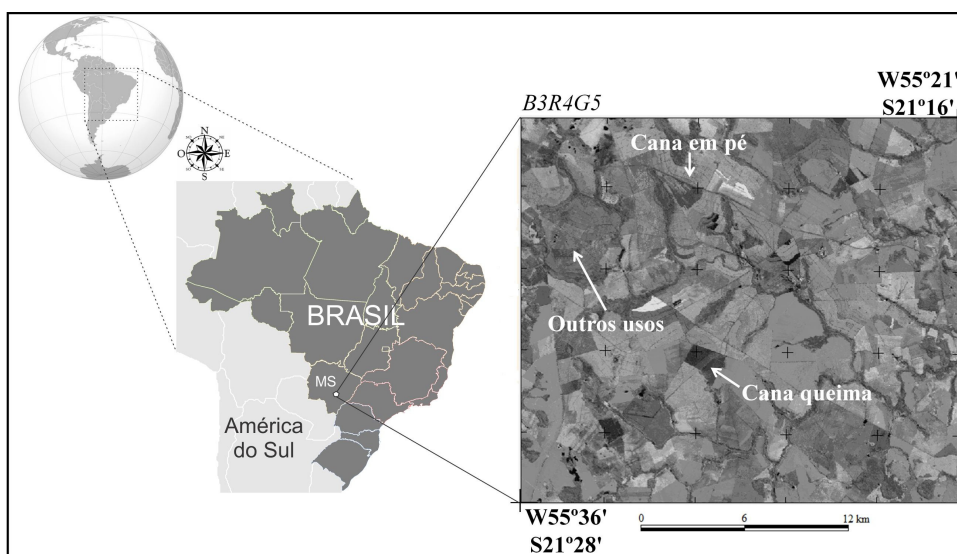


Figura 1. Imagem de 12 de abril de 2010 obtida pelo sensor TM/Landsat-5 da área do município de Maracaju, Mato Grosso do Sul.

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), proveniente do sensor *Thematic Mapper* (TM) (bandas 3, 4 e 5), com resolução espacial de 30x30m, a bordo do satélite Landsat-5. Foi utilizada a órbita 225 e ponto 75, gerada em 12 de abril de 2010, que corresponde ao início do período de colheita da cana-de-açúcar no Estado. Esta cena foi

devidamente registrada, a partir de uma imagem do mesmo satélite e sistema sensor, ortoretificada, com datum WGS 1984 e projeção UTM, obtida no site da NASA (<http://glcf.umiacs.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; KHORRAM, 1998).

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).

Realizada a correção geométrica, a imagem foi submetida a três tratamentos diferenciados: reamostragem, correção radiométrica e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), os quais deram origem a três Planos de Informação (PI's), com as seguintes características: 1) imagem reamostrada para 15 metros; 2) imagem original (30 metros), com correção radiométrica; e 3) imagem original, com correção radiométrica e NDVI. Em seguida, aplicaram-se para todos os PI's as classificações supervisionadas por *pixel* e por regiões, e não supervisionada por regiões. O fluxograma é exposto na Figura 2, onde ilustra a metodologia utilizada desde a aquisição das imagens até a classificação final, onde foram gerados os mapas temáticos.

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).

O método de reamostragem de imagens consistiu na transformação da resolução espacial original de 30 metros para 15 metros (FONSECA, 1988), possibilitando melhor discriminação visual dos alvos. Em seguida, efetuou-se o realce de contraste linear para uma melhor distinção entre os alvos. Os PI's resultantes foram diretamente submetidos a classificadores supervisionados (por *pixel* e por regiões) e não-supervisionado.

Os PI's corrigidos geometricamente e não reamostrados foram submetidos à correção radiométrica, implementada em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), segundo Chander et al. (2009). Por

consequente, executou-se o índice de vegetação da área mapeada, empregando-se o NDVI (Equação 1).

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

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

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, onde comumente é utilizado o NDVI.

Após os devidos tratamentos aplicados na imagem composta (B3R4G5), 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). Em um segundo momento, foi aplicado o método não-supervisionado, que por meio do método exploratório definiram-se os limiares de similaridade e área (*pixels*) os quais correspondem aos mesmos valores utilizados anteriormente, em seguida aplicado o algoritmo ISOSEG (Equação 4) que classifica em regiões, com 99,9% de limiar de aceitação.

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

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.

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

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.

$$D = \frac{1}{2} (X - m_i)^T C_i^{-1} (X - m_j) \quad (4)$$

em que D = distância de *Mahalanobis*; T = matriz transposta; C_i = matriz de covariância; m_i e m_j = vetor de média das classes i e j ; e X = região de análise.

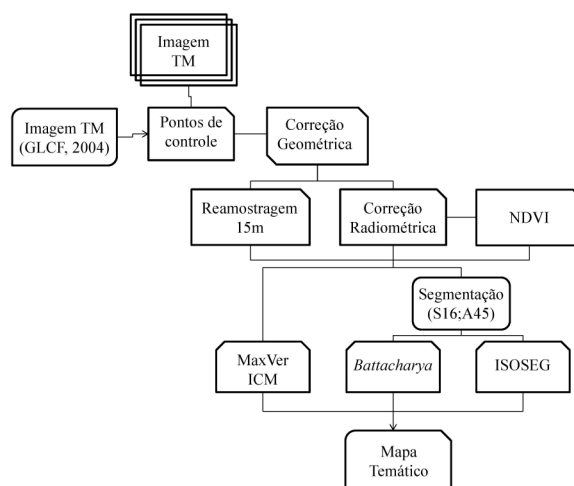


Figura 2. Fluxograma da metodologia utilizada para geração de mapa temático.

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).

Na 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 5) e Exatidão Global (Equação 6) a partir de 60 pontos amostrais (*pixels*) como referência.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (5)$$

$$Exatidão_{global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (6)$$

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.

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 correção radiométrica, denominada radiometria na Figura 3B, enquanto que a reamostrada para 15 m de resolução espacial estão representadas na Figura 3C. O mesmo tratamento digital foi realizado para a classificação com o algoritmo da Máxima Verossimilhança (Maxver-ICM) apresentado nas Figuras 3D, 3E e 3F. Com relação à classificação não-supervisionada (ISOSEG), também se utilizaram os mesmos tratamentos na imagem antes da classificação (Figura 3G, 3H e 3I). Da mesma maneira, as classificações denominaram-se de tom azul escuro (*CQ*), vermelho claro (*CP*) e amarelo (*OU*).

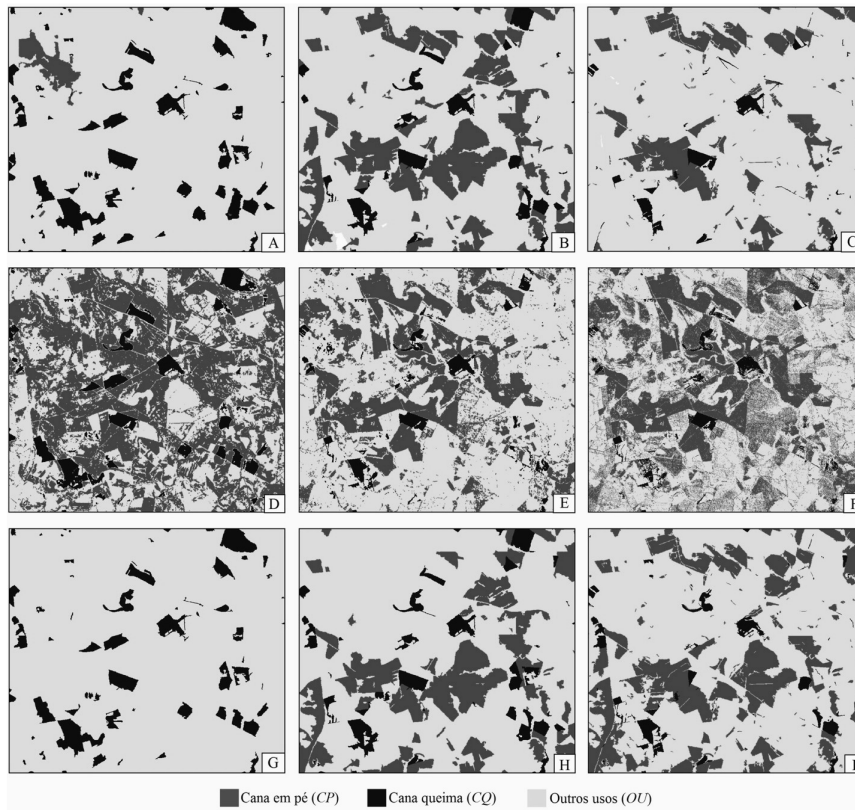


Figura 3. O tratamento utilizado para os três classificadores foram: radiometria+NDVI, radiometria e reamostragem-15m, respectivamente ao *Bhattacharya* (A, B e C), Maxver-ICM (D, E e F) e ISOSEG (G, H e I).

Na etapa da reamostragem para 15 m de resolução espacial, não foi utilizado o tratamento de radiometria, pois a imagem obteve uma piora em relação aos *pixels*, havendo muitas distorções e deformando as áreas de interesse, e o mesmo foi

observado quando se testou reamostragens de 5, 10 e 20 m.

Os resultados da validação estatística *Kappa* e Exatidão Global para os classificadores *Bhattacharya*, Maxver-ICM e ISOSEG estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Matriz de confusão do classificador *Bhattacharya* e valores dos índices \hat{K} e EG.

		Referência				
		Reamostragem -15m				
		CP	CQ	OU	Σ	
Classif.	CP	12	0	1	13	$\hat{K}=0,67$
	CQ	0	16	0	16	
	OU	8	4	19	31	
	Σ	20	20	20	60	EG=0,78
		Radiométrica				
Classif.	CP	12	0	0	12	$\hat{K}=0,77$
	CQ	0	19	0	19	
	OU	8	1	20	29	
	Σ	20	20	20	60	EG=0,85
		Radiométrica+NDVI				
Classif.	CP	1	0	0	1	$\hat{K}=0,50$
	CQ	0	20	1	21	
	OU	19	0	19	38	
	Σ	20	20	20	60	EG=0,67

Os pontos amostrais adotados como verdade terrestre foram tomados da própria imagem sintética, a partir da interpretação visual. Na classificação utilizando o algoritmo *Bhattacharya* (Tabela 1) houve confusão principalmente em relação à classe *OU* e, quando utilizado o classificador Maxver-ICM (Tabela 2), a confusão de classes se deu significativamente com a *CP*. O mesmo aconteceu com Mello et al. (2010), onde utilizando o classificador Maxver em imagens Landsat 5/TM, apresentaram maiores confusões em áreas canavieiras queimadas em relação as áreas que não houveram a queima da palha (crua). Para a classificação utilizando o ISOSEG (ausência de treinamento) (Tabela 3), verificou-se confusão com as três classes conforme o tratamento da imagem pré-estabelecido.

Dentre todos os classificadores e as diferentes técnicas de tratamento digital empregadas

constatou-se que o classificador supervisionado por *pixel* Maxver-ICM (Tabela 2), submetido à correção radiométrica, foi o que apresentou o melhor resultado para o mapeamento automático da cana-de-açúcar, com exatidão global de 0,93 e índice *Kappa* 0,90, considerado excelente por Landis e Koch (1977) e Foody (2002).

Com relação ao tratamento digital, quando aplicado o NDVI na imagem radiométrica, neste caso, obteve-se piores resultados com o Maxver-ICM, possivelmente por ter causado confusão entre a classificação de vegetação natural com a *Cana em Pé* (Figura 3D), pois ele tende a verificar, por verossimilhança, a qual padrão o talhão mais se assemelha (AGUIAR et al., 2009a). Entretanto, na Tabela 2 pode-se verificar que as maiores observações foram obtidas para a classe *CP* ao utilizar o NDVI.

Tabela 2. Matriz de confusão do classificador Maxver-ICM e valores dos índices \hat{K} e EG.

		Referência				
		Reamostragem -15m				
		CP	CQ	OU	Σ	
Classif.	CP	19	0	1	20	$\hat{K}=0,75$
	CQ	0	14	2	16	
	OU	1	6	17	24	
	Σ	20	20	20	60	EG=0,83
		Radiométrica				
Classif.	CP	19	0	1	20	$\hat{K}=0,90$
	CQ	0	19	1	20	
	OU	1	1	18	20	
	Σ	20	20	20	60	EG=0,93
		Radiométrica+NDVI				
Classif.	CP	20	0	4	24	$\hat{K}=0,80$
	CQ	0	17	1	18	
	OU	0	3	15	18	
	Σ	20	20	20	60	EG=0,87

Estudos realizados por Picoli et al. (2009) com determinações de safras de cana-de-açúcar com imagens do sensor MODIS com NDVI, explicam que o processo é apenas satisfatório quando utilizados em imagens obtidas no período de outubro a março, onde ocorre maior acúmulo de palha nas áreas, pelo fato desse tratamento à imagem estar relacionado com a quantidade de biomassa que a cultura apresenta. Além disso, Brandão et al. (2009), apresentam o NDVI como uma ferramenta para o manejo da cultura da cana-de-açúcar, para o mapeamento das áreas aptas a entrarem em reforma pelo baixo potencial do talhão, por produzir menores valores de biomassa.

Visualmente notam-se grandes áreas para classe *Cana em Pé* quando utilizado Maxver-ICM (Figura 3D), além de áreas significativas em relação a *Cana Queima*, onde apresentou índice *Kappa* igual a 0,80, considerada muito boa (LANDIS; KOCH, 1977). 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 (Tabela 2), o desempenho mostrou-se excelente para *CQ*, *CP* e *OU*, onde o índice *Kappa* alcançou 0,90 e exatidão global de

0,93. Entretanto, quando aplicado a reamostragem no tratamento da imagem e novamente o classificador Maxver-ICM, obteve-se resultados satisfatórios, porém com desempenho reduzido, com índice *Kappa* de 0,75.

As classificações utilizando o algoritmo *Bhattacharya* (Tabela 1) apresentaram um índice de concordância *Kappa* entre 0,50 a 0,77, 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 e quando apenas aplicado a

radiometria obteve-se melhores resultados na classificação entre *CQ*, *CP* e *OU*.

Os parâmetros obtidos quando utilizado a classificação ISOSEG (Tabela 3), que no caso não há treinamento prévio, foi insatisfatório quando comparado aos demais, apresentando valor máximo de índice *Kappa* de 0,80 e exatidão global de 0,87, sobretudo quando aplicado o NDVI, onde mesmo obtendo o nível bom nos testes aplicados, não distinguiu a *Cana em Pé*, generalizando como *Cana Queima* e *Outros Usos* (Figura 2G).

Tabela 3. Matriz de confusão do classificador ISOSEG e valores dos índices \hat{K} e EG.

		Referência				
		Reamostragem -15m				
Classif.		CP	CQ	OU	Σ	\hat{K} =0,57 EG=0,72
		CP	13	0	1	
	CQ	0	11	0	11	
	OU	7	9	19	35	
	Σ	20	20	20	60	
		Radiométrica				
Classif.		CP	CQ	OU	Σ	\hat{K} =0,80 EG=0,87
		CP	12	0	0	
	CQ	0	20	0	20	
	OU	8	0	20	28	
	Σ	20	20	20	60	
		Radiométrica+NDVI				
Classif.		CP	CQ	OU	Σ	\hat{K} =0,42 EG=0,62
		CP	0	0	0	
	CQ	0	18	1	19	
	OU	20	2	19	41	
	Σ	20	20	20	60	

A quantificação das áreas (ha) de *Cana Queima*, *Cana em Pé* e *Outros Usos*, está descrita na Tabela 4. Considerando a excelente classificação obtida pela Máxima Verossimilhança-ICM em imagem radiométrica, a *Cana Queima* apresentou área inferior quando comparado ao tratamento de radiometria e ao NDVI aplicado a imagem.

Para a mesma reamostragem aplicada à imagem, os classificadores *Bhattacharya* e ISOSEG apresentaram desempenhos semelhantes para as três classes estudadas. Para a radiométrica o algoritmo *Bhattacharya* apresentou baixo valor para a classe *CP* e o classificador ISOSEG subestimou a área de *Cana Queima*.

Tabela 4. Áreas em hectares conforme o tratamento da imagem e tipos de classificadores para cana queimada (*CQ*), cana em pé (*CP*) e outros usos (*OU*).

Tratamento	Classificação	<i>CQ</i>	<i>CP</i>	<i>OU</i>
Reamostragem -15m	Maxver-ICM	2.118,33	20.188,39	35.930,99
	<i>Bhattacharya</i>	1.444,03	7.655,02	49.116,62
	ISOSEG	2.069,89	13.853,77	42.314,06
Radiométrica	Maxver-ICM	2.223,99	16.256,16	39.762,09
	<i>Bhattacharya</i>	3.009,69	14.045,67	41.008,77
	ISOSEG	3.630,78	12.368,88	42.242,58
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
	ISOSEG	5.139,63	0,00	53.102,61

Quando aplicado o NDVI à imagem radiométrica, o classificador ISOSEG superestimou áreas de *Cana Queima*, por não distinguir áreas da classe CP (Figura 3G), havendo confusão com a cultura da soja, podendo assim dizer pelo fato da mesma apresentar tom alaranjado a avermelhada na sua composição colorida, ou seja, *pixels* com níveis de cinza semelhantes.

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, corroborando com resultados obtidos por Oliveira (2009), onde a obtenção de mapas de uso e ocupação do solo,

incluindo a cana-de-açúcar, foi eficiente quando utilizado o classificador Maxver.

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a classificação Maxver-ICM mostrou melhores resultados quando submetida somente a correção radiométrica quando comparada à classificação supervisionada (*Bhattacharya*) e não-supervisionada (ISOSEG) na detecção de cana queimada. A imagem classificada a partir da aplicação do NDVI apresentou-se como um método estatisticamente inferior aos demais.

A reamostragem 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.

ABSTRACT: The present study aimed to evaluate the performance of supervised classifiers and unsupervised for automatic detection of fires in cane fields using satellite images Landsat-5/TM. The study area is located in the northwest from the town of Maracaju, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Different methods of classification and image processing were tested to map the cane harvesting prior to straw burning. The images were treated with resampling to 15m, radiometric correction and NDVI. The classifications were used algorithms Maxver-ICM, Bhattacharya and ISOSEG. The different pre-processing and applied classifiers were submitted to statistical validation through the parameters Kappa and overall accuracy. The results indicated a significant potential for supervised classifiers in identifying burnt cane. It was concluded that it is possible to obtain accuracies classified as excellent when used the Maximum Likelihood Classifier-ICM.

KEYWORDS: *Bhattacharya*. ISOSEG. Maxver-ICM. *Saccharum* spp. Remote sensing.

REFERÊNCIAS

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.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; SÁNCHEZ, G. A.; BARROS, M. A.; SUGAWARA, L. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. **Mapeamento da cana colhida no Estado de São Paulo – ano safra 2006/2007**. São José dos Campos. INPE, 2007. 51p.

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.

BRANDÃO, D.; GOLTZ, E.; CARVALHO, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; PONZONI, F. J. Distinção de classes de cana-de-açúcar através do NDVI. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, p. 105-111.

- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; II, F. M. **SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** *Computers & Graphics*, London, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.
- CORRÊA, M. C. M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.
- 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.
- DAI, X.; KHORRAM, S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, New York, 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.** 1998. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São José dos Campos-SP.
- FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 80, n. 1, p. 185-201, 2002.
- 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. **Mapeamento da Cana via imagens de satélite de observação da Terra (CANASAT).** Disponível em: <<http://dsr.inpe.br/canasat/>>. 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. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** 3ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2005. 526p.
- 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.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, Arlington, 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, p. 939-946.

MELLO, M. P.; RUDORFF, B. F. T.; VIEIRA, C. A. O.; AGUIAR, D. A. Classificação automática da colheita da cana-de-açúcar utilizando modelo linear de mistura espectral. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 181-188, 2010.

MORAES, M. A. F. D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período de 1992-2005. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 875-902, 2007.

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, F. G. **Diagnóstico da expansão da cultura canavieira e dos conflitos ambientais de uso do solo no município de Barra Bonita/SP**. 2009. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Botucatu-SP

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>.

PICOLI, M. C. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A.C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. **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 2003/2004**. São José dos Campos. INPE, 2004. 47p. (INPE-10791-RPQ/759).

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; ASNER, G. P.; STEINKE, E. T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 28, n. 12, p. 2739-2752, 2007.