

COMPARAÇÃO DE ÁREAS DE SOJA (*Glycinemax* (L) Merr.) OBTIDAS POR MEIO DA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT E MODIS/TERRA NO MUNICÍPIO DE MARACAJU (MS)

COMPARISON OF AREAS OF SOYBEAN (*Glycine max* (L) Merr.) OBTAINED THROUGH THE INTERPRETATION OF TM/LANDSAT AND MODIS/TERRA IMAGES IN THE MUNICIPALITY OF MARACAJU (MS)

Carlos Antonio da SILVA JUNIOR¹; Eder Paulo MOREIRA²; Thiago FRANK²; Maurício Alves MOREIRA²; Diego BARCELLOS³

1. Universidade Estadual de Maringá - UEM, Departamento de Agronomia, Maringá, Paraná, Brasil. carlos-junior89@hotmail.com; 2. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Divisão de Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, São Paulo, Brasil; 3. University of Georgia - UGA, 12 Carlton Street, Athens, Georgia, Estados Unidos.

RESUMO: A cultura da soja possui características favoráveis para sua identificação e mapeamento por meio de interpretação de imagens de sensores remotos a bordo de satélites. O presente trabalho teve como objetivo comparar os resultados de mapeamento dessa cultura, por meio da interpretação de imagens TM/Landsat-5 e MODIS/Terra para o ano safra 2010/11. O trabalho foi realizado para o município de Maracaju, Mato Grosso do Sul, maior produtor de soja do Estado. Foram adquiridas oito imagens MODIS/Terra no ano de 2010 e quatro em 2011 e uma do TM/Landsat-5 do ano de 2011, compreendendo o período de cultivo da soja na região. De posse das imagens e dos processamentos foram gerados mapas temáticos de áreas de soja, das quais segue: componentes principais de imagem monotemporal TM, monotemporal MODIS com seus respectivos NDVI's e EVI's, por meio do classificador supervisionado MaxVer; além disso foi calculado o índice CEI, que no processo de fatiamento de *pixels* foram obtidas as áreas de soja. As classificações utilizando bandas do TM/Landsat-5 apresentaram excelentes estimativas de áreas de soja indicadas pelas métricas de validação *Kappa* e exatidão global. No método do índice CEI, neste caso, apresentou inferioridade perante as demais estimativas obtidas, apenas apresentando-se superior a estimativa de área obtida pela imagem monotemporal NDVI/MODIS.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas agrícolas. CEI. Índices de vegetação. Principais componentes.

INTRODUÇÃO

As estimativas de áreas plantadas e a espacialização das culturas quando fornecidos em tempo oportuno e com precisão são importantes para o planejamento e a tomada de decisão. No Brasil previsões de safras agrícolas são feitas por meio de dados subjetivos coletados nos municípios com opiniões de técnicos e agentes de fomento como órgãos financiadores, de venda de insumos e sementes e informações dos próprios agricultores (IBGE, 2002). Dessa forma, estas estimativas não têm como serem avaliadas em termos de precisão, pois não há um erro associado a elas.

A cultura da soja além de ser plantada em larga escala e em relevo plano a suavemente ondulado, possui características espectrais favoráveis para sua identificação e mapeamento por meio de imagens de satélites, como as do sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 x 30m (900 m²) ou mesmo por meio de imagens do sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectro radiometer*) a bordo dos satélites Terra e Aqua, com resolução

temporal de 1-2 dias, embora sabendo que a menor resolução espacial dessas imagens é de 250 x 250m (6,25 ha).

O Estado do Mato Grosso do Sul apresenta área total plantada de 1,760 milhões ha (CONAB, 2011). Na safra de 2011 a produtividade média da soja foi de 2.937 kg ha⁻¹, considerada baixa no Estado, causada pelas intensas precipitações. O período de cultivo da soja no Estado ocorre tradicionalmente entre outubro (semeadura) a março (colheita), o que muitas vezes não favorece a obtenção de imagens do TM/Landsat-5 livres de nuvens, por ser época de grande probabilidade de ocorrência das chuvas. Por outro lado, como a resolução temporal do MODIS/Terra é quase que diária e a probabilidade de se obter imagens livre de nuvens é maior.

Assim, mesmo sabendo que a resolução espacial das imagens MODIS é inferior às imagens do TM/Landsat-5, dada a sua alta resolução temporal é possível fazer o mapeamento desta cultura todos os anos, enquanto que por meio de imagens TM/Landsat-5 nem sempre isto é possível. Como afirma Sano et al. (2007), quanto maior for a

resolução temporal, maior será a probabilidade de se obter uma imagem livre de cobertura de nuvens

O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma comparação dos mapeamentos da cultura da soja, apoiados na interpretação de imagens TM/Landsat-5 e MODIS/Terra, no município de Maracaju, Mato Grosso do Sul, na safra 2010/11.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o município de Maracaju, situado no sudoeste de Mato Grosso do Sul (Microrregião de Dourados), localizado entre as

Latitudes 21°37'13" a 20°56'00"S e Longitudes 55°10'06" e 54°50'00"W (Figura 1). De acordo com o IBGE na região há uma predominância de cultivo da soja, sendo Maracaju o maior produtor do estado (SIDRA/IBGE, 2012). O cultivo é realizado no período entre outubro a março. Segundo a classificação de *Köppen-Geiger* o clima é do tipo Aw, com temperaturas mínimas de 14 a 15°C, média entre 25 a 27° C e máximas entre 32 a 33°C. A altitude média do município é de 384m. Os solos predominantes são: Latossolo Roxo 86,2% - Latossolo Vermelho Escuro 9,6% - Glei Pouco Humico 2,0% - Vertissolo 0,3% - e Litólico 1,9% (EMBRAPA, 2006).

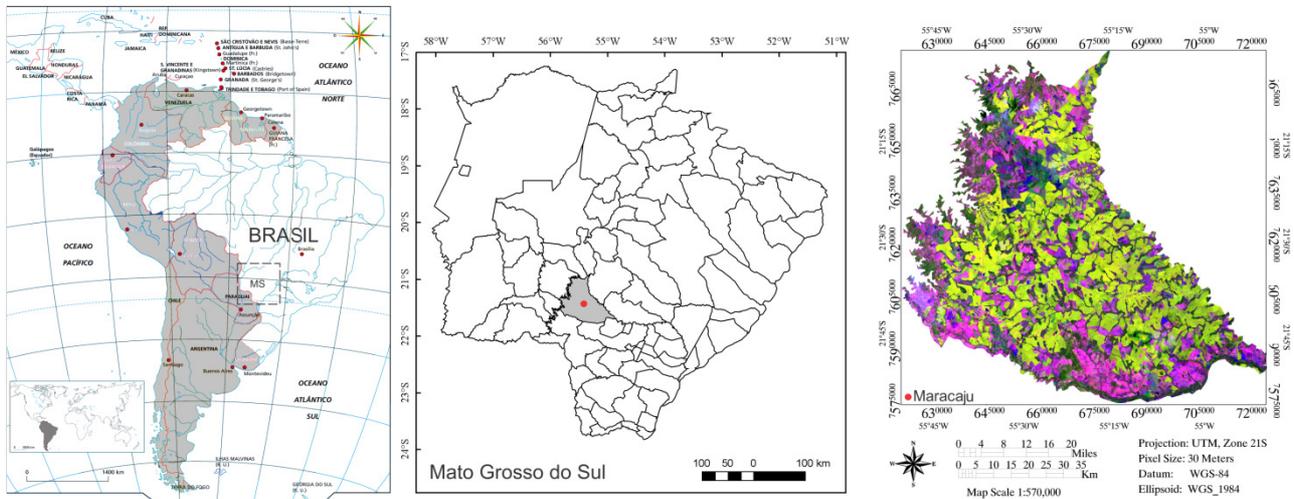


Figura 1. Área de estudo mostrada na imagem do sistema-sensor TM/Landsat-5, falsa-cor 4(R)5(G)3(B).

Para o mapeamento das lavouras de soja foram utilizados os valores de EVI (*Enhanced Vegetation Index* – Equação 1) e do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Equação 2) do produto MOD13Q1, coleção 5.0, das imagens MODIS compostas de 16 dias (Huete, 1997) do satélite Terra, com resolução espacial de 250 m. Foram também calculados pela imagem TM/Landsat-5 os valores referentes a estes dois índices.

$$EVI = g \cdot \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + (c_1 \cdot \rho_V) - (c_2 \cdot \rho_A) + 1} \quad (1)$$

em que: ρ_{IVP} , ρ_V e ρ_A são as reflectâncias na faixa espectral do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, respectivamente; g é o fator de ganho (2,5); c_1 e c_2 são os coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6) e azul (7,5), respectivamente; e 1 é o fator de correção para interferência do solo.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (2)$$

Sendo: ρ_{IVP} e ρ_V as reflectâncias nas regiões do infravermelho próximo e vermelho.

Enquanto o NDVI atenua os efeitos do solo sobre a vegetação, o EVI é um índice que foi desenvolvido para atenuar os efeitos do solo e da atmosfera no mapeamento de vegetação.

Para o cálculo do índice CEI (*Crop Enhancement Index*) proposto por Rizzi et al. (2009), são necessários obter os valores de máximo e de mínimos do EVI, compreendendo o plantio da cultura e seu desenvolvimento vegetativo, respectivamente. Para tal, foram utilizadas oito imagens EVI do ano de 2010 (161, 177, 193, 209, 225, 321, 337 e 353 dias Juliano) e quatro do ano de 2011 (001, 017, 033 e 049 dias Juliano). De posse destes valores foi então calculado o índice CEI por meio da Equação 3.

$$CEI = g * \frac{(\text{MaxEVI} + S) - (\text{MinEVI} + S)}{(\text{MaxEVI} + S) + (\text{MinEVI} + S)} \quad (3)$$

em que: MaxEVI: valor máximo de EVI observado no período de máximo desenvolvimento da cultura;

MinEVI: valor mínimo de EVI observado no período de pré-plantio e/ou emergência; S: coeficiente de realce (10^2); e g: fator de ganho (10^2).

Assim, os valores do índice CEI podem variar entre -1 e 1, o que possibilita verificar grandes diferenças positivas entre o MaxEVI e o MinEVI observados ao longo da safra da soja. Altos valores de CEI indicam grande probabilidade de a reflectância do pixel ser da cultura da soja. Os valores obtidos por meio da Equação 3 foram especializados e foi gerado um mapa deste índice, em que foi realizado um fatiamento numérico; os valores superiores ou iguais a 0,28 foram considerados *pixels* de soja e abaixo disso não-soja, conforme proposto por Rizziet al. (2009).

Foi adquirida uma imagem totalmente livre de nuvens do TM/Landsat-5 com data de 25/01/2011, órbita/ponto 225/075, período em que a cultura encontrava-se em pleno vigor vegetativo. O processamento da imagem TM foi sintetizado em três principais etapas, conforme descrito em Novo (2008) e Jensen (2009): a) Pré-processamento: registro a partir de uma imagem TM/Landsat-5 devidamente georreferenciada e ortorretificada, obtida no website da NASA (<http://glovis.usgs.gov/index.shtml>), (GLCF, 2004). Para o tanto foi utilizado o polinômio de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo.

O quadrado médio do erro (RMS: *Root Mean Square*) foi inferior a 0,5 *pixel*, recomendado por Daí eKhorram(1998); além disso foi realizada

correção atmosférica pelo modelo Segunda Simulação de Sinais de Satélites no Espectro Solar (6S) (VERMOTE, 1997), sendo adotadas como condições iniciais a visibilidade de 70 quilômetros, a atmosfera tropical e o modelo de aerossóis continental; b) Realce: foi atribuído um contraste linear para melhor discriminação dos alvos; e c) Classificação: após os devidos tratamentos aplicados nas imagens TM e MODIS foi aplicada a classificação supervisionada *pixel a pixel*, apoiada no algoritmo da Máxima Verossimilhança (MaxVer) conforme descrito por Moreira (2011), para todos os processamentos, exclusive o índice CEI. O aplicativo de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 5.2), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Além disso, a partir das imagens TM/Landsat-5, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, foi realizado a transformação por componentes principais (CP), para a redução da dimensão dos dados. Para a classificação selecionou as CP's com maior variância. Os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) continham mais de 99% da variabilidade das informações espectrais na área.

De posse das imagens processadas foram gerados mapas temáticos de áreas de soja, das quais segue: imagem monotemporal TM (25/1/2011), MODIS (2/2/2011) com seus respectivos NDVI's e EVI's e índice CEI. Tais procedimentos são apresentados no fluxograma (Figura2).

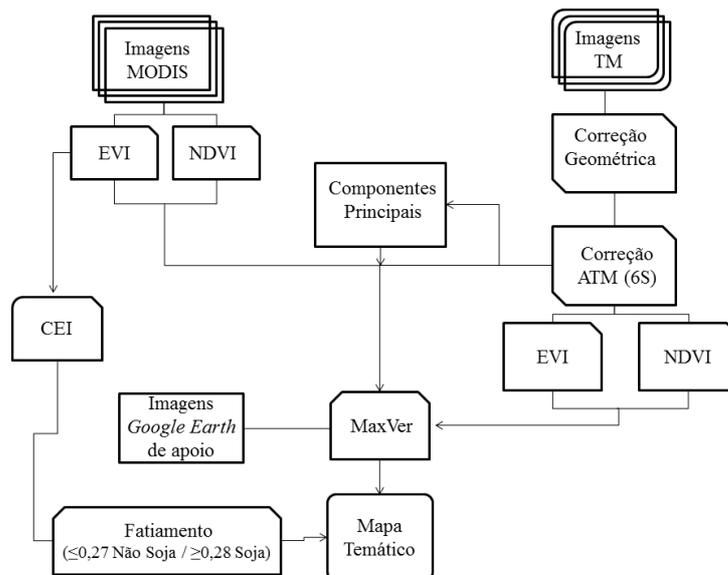


Figura 2. Fluxograma da metodologia utilizada para geração dos mapas temáticos.

A precisão dos mapas temáticos com a espacialização das áreas de soja foi avaliada pelas métricas do índice *Kappa* (Equação 4) e Exatidão

Global (EG) (Equação 5), assim como os erros e a precisão sob os pontos de vista do produtor e do usuário, por município. Essas métricas permitem

avaliar melhor a classificação final das áreas de soja.

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

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

em que: κ = 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 determinar os valores do *Kappa* e da Exatidão Global foram utilizados 100 pontos amostrais (LUIZ, 2005) distribuídos aleatoriamente, que foram analisados como soja e não-soja (mata, pasto, urbano, floresta, outros) com base no conhecimento da área, na interpretação da imagem monotemporal do TM (25/1/2011) e em imagens de alta resolução espacial do *Google Earth* de períodos recentes. Na Figura 3 é mostrada a localização espacial dos 100 pontos amostrados.

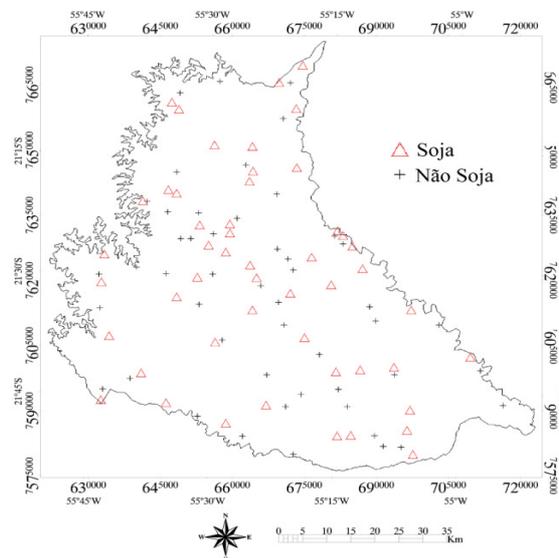


Figura 3. Distribuição espacial dos pontos amostrados para análise da precisão dos mapas temáticos com a espacialização das áreas de soja no município.

De posse dos valores e sob a hipótese de igualdade entre dois coeficientes de precisão advindos das diferentes classificações ($\kappa_1 = \kappa_2$), a estatística do teste foi realizada pelas Equações 6, 7 e 8.

$$Z = \frac{(\hat{\kappa}_1 - \hat{\kappa}_2) - (\kappa_1 - \kappa_2)}{\sqrt{\sigma^2(\hat{\kappa}_1) + \sigma^2(\hat{\kappa}_2)}} \sim N(0,1) \quad (6)$$

$$Z = \frac{\hat{\kappa} - \kappa}{\sqrt{\sigma^2(\hat{\kappa})}} \sim N(0,1) \quad (7)$$

$$\sigma^2(\hat{\kappa}) = \frac{1}{n} \left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \quad (8)$$

em que, $\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ik}}{n}$; $\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{i+} \cdot x_{+i}}{n^2}$; $\theta_3 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ik} (x_{i+} + x_{+k})}{n^2}$; $\theta_4 = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c x_{ij} (x_{i+} + x_{+j})}{n^3}$.

Foi estabelecido como hipótese nula (H0) a igualdade dos índices e o inverso para a suas diferenças (H1), a um nível de 5% de significância.

Por fim, a estimativa de área cultivada com soja foi comparada com aquela fornecida pelo SIDRA/IBGE, como um parâmetro para verificação da avaliação do mapeamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas resultantes das estimativas de áreas de soja produzidos pelas diferentes metodologias de classificação de imagens estão representados nas Figuras 4 e 5.

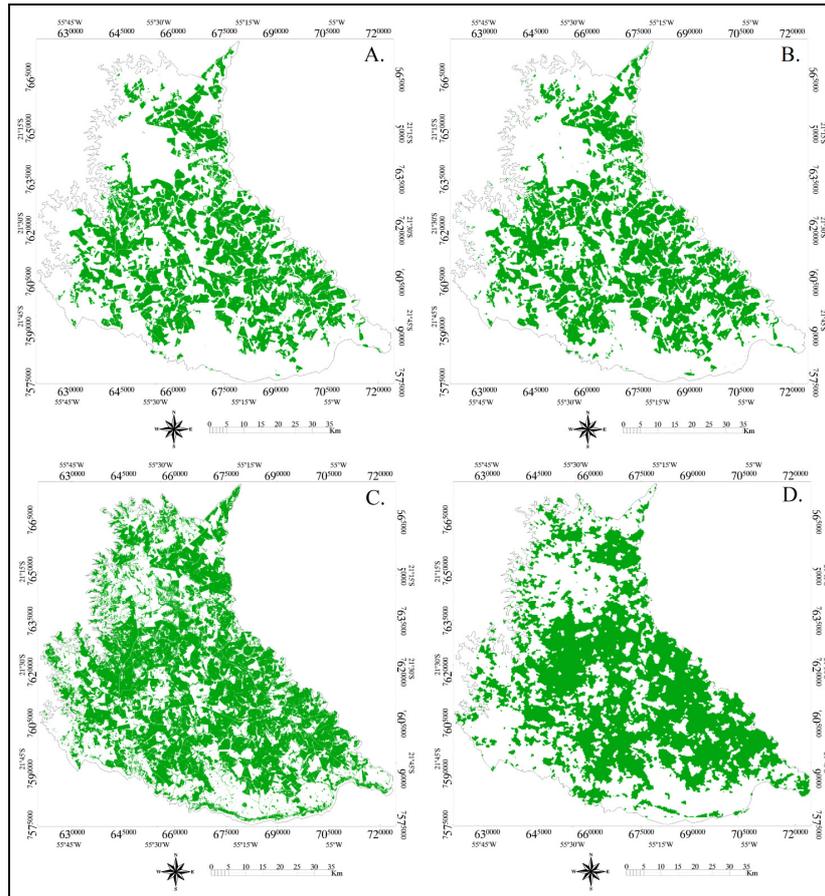


Figura 4. Mapas de áreas de soja obtidos pela classificação de imagens TM/Landsat-5 (A), imagem NDVI originado do TM/Landsat-5 (B), imagens EVI originada do TM/Landsat-5 (C) e pela imagem monotemporal NDVI/MODIS (D).

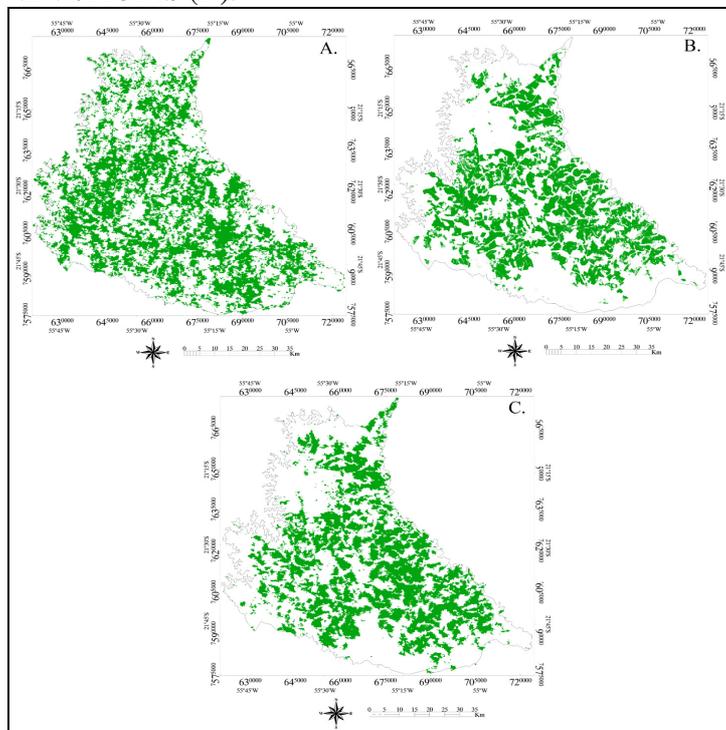


Figura 5. Mapas de áreas de soja obtidos pela classificação de imagem monotemporal EVI/MODIS (A), componentes principais originadas do TM/Landsat-5 (B) e pela metodologia do índice CEI (C).

Pela análise visual dos mapas temáticos nota-se que as imagens monotemporais superestimaram as áreas classificadas como soja em relação ao índice CEI e à classificação por componentes principais do sistema-sensor TM. Na Tabela 1 estão contidos os resultados do índice

Kappa e de exatidão global para cada uma das abordagens de classificação e nas Tabelas 2 e 3 estão contidos os erros e a precisão do consumidor e do produtor, métricas essas oriundas dos mapas temáticos apresentados nas Figuras 4 e 5.

Tabela 1. Matriz de confusão do classificador MaxVer em função dos diferentes métodos de estimativa de área de soja e seus respectivos valores dos índices κ e EG.

		Referencia			
		TM			
		Soja	Não-Soja	Σ	
Classificação	Soja	49	0	49	$\kappa = 0,98$ EG = 0,99
	Não-Soja	1	50	51	
	Σ	50	50	100	
<i>NDVI/TM</i>					
Classificação	Soja	48	4	52	$\kappa = 0,88$ EG = 0,94
	Não-Soja	2	46	48	
	Σ	50	50	100	
<i>EVI/TM</i>					
Classificação	Soja	49	17	66	$\kappa = 0,64$ EG = 0,82
	Não-Soja	1	33	34	
	Σ	50	50	100	
<i>NDVI/MODIS</i>					
Classificação	Soja	23	28	51	$\kappa = -0,10$ EG = 0,45
	Não-Soja	27	22	49	
	Σ	50	50	100	
<i>EVI/MODIS</i>					
Classificação	Soja	33	10	43	$\kappa = 0,46$ EG = 0,73
	Não-Soja	17	40	57	
	Σ	50	50	100	
<i>CP/TM</i>					
Classificação	Soja	49	3	52	$\kappa = 0,92$ EG = 0,96
	Não-Soja	1	47	48	
	Σ	50	50	100	
<i>CEI</i>					
Classificação	Soja	19	8	27	$\kappa = 0,22$ EG = 0,61
	Não-Soja	31	42	73	
	Σ	50	50	100	

Tabela 2. Erro e precisão do ponto de vista do produtor e do usuário para as Matrizes de Erros para a classe soja construídas a partir das imagens.

Sensor/Método	Produtor		Consumidor	
	Erro	Precisão	Erro	Precisão
TM	0,02	0,98	0,00	1,00
NDVI/TM	0,04	0,96	0,07	0,92
EVI/TM	0,02	0,98	0,26	0,74
NDVI/MODIS	0,54	0,46	0,55	0,45
EVI/MODIS	0,34	0,66	0,23	0,77
CP/TM	0,02	0,98	0,06	0,94
CEI	0,62	0,38	0,30	0,70

Tabela 3. Erro e precisão do ponto de vista do produtor e do usuário para as Matrizes de Erros para a classe não-soja construídas a partir das imagens.

Sensor/Método	Produtor		Consumidor	
	Erro	Precisão	Erro	Precisão
TM	0,00	1,00	0,02	0,98
NDVI/TM	0,08	0,92	0,04	0,96
EVI/TM	0,34	0,66	0,03	0,97
NDVI/MODIS	0,56	0,44	0,55	0,45
EVI/MODIS	0,20	0,80	0,30	0,70
CP/TM	0,06	0,94	0,02	0,98
CEI	0,16	0,84	0,42	0,58

Tabela 4. Teste de hipótese para comparar os resultados de precisão entre os índices.

$Kappa_1$ versus $Kappa_2$	Z	valor-p
TM x NDVI TM	1,94	0,0260*
TM x EVI TM	4,51	0,0000*
TM x NDVI MODIS	10,65	0,0000*
TM x EVI MODIS	5,77	0,0000*
TM x CP TM	1,37	0,0860*
TM x CEI	8,55	0,0000*
NDVI TM x EVI TM	2,76	0,0029*
NDVI TM x NDVI MODIS	8,89	0,0000*
NDVI TM x EVI MODIS	4,20	0,0000*
NDVI TM x CP TM	-0,65	0,2578 ^{ns}
NDVI TM x CEI	6,68	0,0000*
EVI TM x NDVI MODIS	6,00	0,0000*
EVI TM x EVI MODIS	1,58	0,0574 ^{ns}
EVI TM x CP TM	-3,39	0,0004*
EVI TM x CEI	3,71	0,0001*
NDVI MODIS x EVI MODIS	-4,22	0,0000*
NDVI MODIS x CP TM	-9,54	0,0000*
NDVI MODIS x CEI	-2,43	0,0076*
EVI MODIS x CP TM	-4,78	0,0000*
EVI MODIS x CEI	1,94	0,0259*
CP TM x CEI	7,36	0,0000*

^{ns}Não significativo; *Significativo a 5% de probabilidade, ou seja, se $H_0: Kappa_1 - Kappa_2 = 0$; $H_1: Kappa_1 - Kappa_2 < 0$.

Assim, é possível observar, pelas Tabelas 2 e 3, os maiores erros de inclusão (consumidor) para classe soja, consistindo na identificação de áreas onde não havia o cultivo.

As classificações obtidas pelas imagens CP/TM e índice CEI, não apresentaram ocorrência de diferenciação visualmente, o que no caso tais estimativas apresentam concordância entre elas. No entanto, ao analisar o teste de hipótese (Tabela 4), há superioridade na classificação da imagem CP/TM.

A classificação da imagem monotemporal TM apresentou superioridade em relação às demais imagens a um nível de 5% de significância, podendo ser observado pela Tabela 4. Assim, as altas precisões do consumidor e produtor para esta classificação demonstram a sua superior qualidade. Contudo, a dificuldade de se obter imagens de ótima qualidade (livre de nuvens) como a utilizada neste

trabalho, principalmente na época do verão, em que se cultiva a soja, é quase impossível.

Para tanto, o índice CEI apresentou-se superior àquela classificada pelo NDVI/MODIS na estimativa de áreas de soja, podendo ser confirmado pela Tabela 4. Tal fato pode ser confirmado pela Tabela 1, em que a imagem monotemporal NDVI/MODIS acabaram apresentando valor *Kappa* negativo e erro de comissão de 0,55, além de um erro de 42,46% a mais de área quando comparada aquela obtida pelo SIDRA/IBGE (2012) (Figura 6). Este erro possivelmente está inserido no classificador MaxVer, pois pode ter causado confusão da vegetação natural com a soja (Figura 4D), pois ele tende a verificar, por verossimilhança, as áreas que mais se assemelham. O mesmo ocorreu para os demais índices (NDVI e EVI) nas imagens

monotemporais (Figura 4B, C, D e 5A), apresentado valores de validação *Kappa* relativamente baixos.

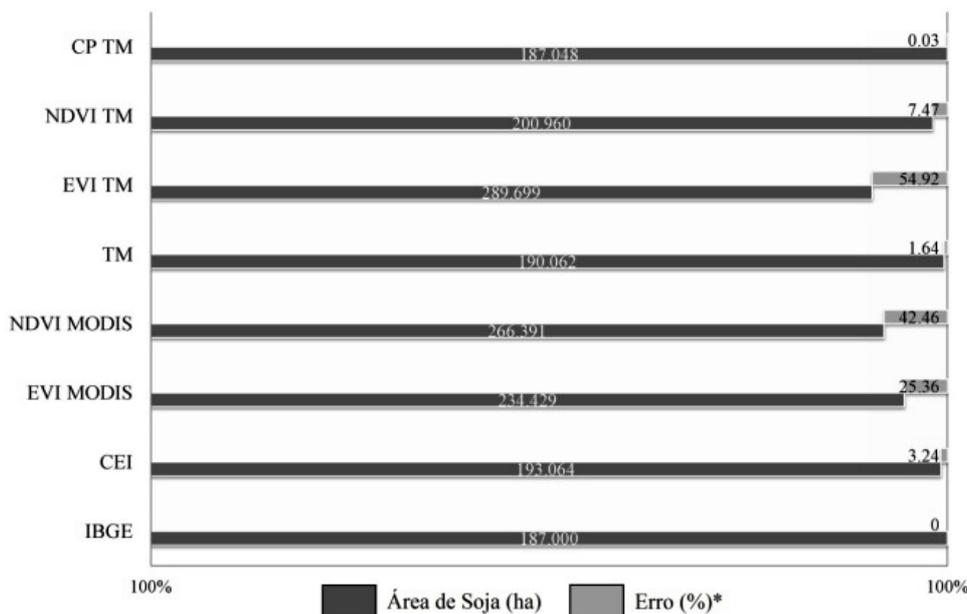


Figura 6. Estimativa de área de soja (safra 2010/11) oriundo das classificações e seus respectivos erros baseados na publicação oficial divulgada pelo SIDRA/IBGE*.

O primeiro componente principal (99,68% da variância) apresenta contribuição dominante e homogênea na banda do infravermelho próximo, com elevado autovetor. O segundo componente principal (0,30% da variância) reflete o contraste espectral entre as bandas do infravermelho próximo e SWIR, na qual eleva a concordância com o desenvolvimento fenológico da soja. Assim sendo, quanto maior o desenvolvimento da soja maior o contraste entre as duas bandas, por refletir radiação no infravermelho próximo devido sua estrutura foliar e a absorção no SWIR pela umidade da vegetação. Tal fato explica o motivo do segundo componente apresentar melhor distinção do alvo soja para os demais, resultando numa ótima classificação e sua validação superior ($\kappa=0,92$; $EG=0,96$), podendo ser confirmado pela sua precisão, apresentada na Figura 6 (erro 0,03%) e nas Tabelas 2 e 3.

Os erros do produtor e do consumidor para a classe não-soja (Tabela 3), foram menores nas classificações das imagens TM e CP/TM, respectivamente, comparado com a classe soja. Esses menores erros obtidos para classe não-soja derivam em maiores acertos da classe soja, concordando com trabalho realizado por Novaes et al. (2009), onde os menores erros foram obtidos pela classificação por componentes principais.

As áreas estimadas de soja (Figura 6) diferenciaram de 0,03 a 54,92% daquela publicada

no site oficial do SIDRA/IBGE (2012), sendo que as áreas quantificadas que mais e menos se aproximaram desta foi gerada pela CP/TM e EVI/TM, respectivamente.

A área estimada pela classificação da imagem monotemporal TM, diferenciou apenas 1,64% em relação à do SIDRA/IBGE (Figura 6). Isto demonstra que a classificação gerada com as bandas do TM, sem cobertura de nuvens, pode ser muito útil para estimativas de áreas de soja, corroborando com resultados apresentados por Rizziet al. (2009).

Para uma escala municipal como demonstra o presente trabalho, diferenças entre áreas obtidas por técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento com os valores de estatísticas oficiais, também foram constatados em trabalhos realizados por Lamparelli et al. (2008), Ippoliti-Ramilo et al. (2003) e Xiao et al. (2002), onde resultam valores superiores e inferiores em relação ao oficial.

Os resultados da área de soja obtidos por meio da classificação de imagens EVI/MODIS, não foram satisfatórios neste estudo, obtendo parâmetro *Kappa* de 0,46 e uma exatidão global de 0,73 (Tabela 1). Esta mesma imagem classificada não apresentou diferença significativa em relação ao EVI/TM.

A classificação realizada pelo método do índice CEI utilizando imagens multitemporais do

sistema-sensor Terra/MODIS, não apresentou uma boa concordância *Kappa*, com maior erro de inclusão (comissão) para esta classificação, ou seja, identificou áreas de soja onde não havia a cultura. Analisando os testes apresentados na Tabela 2, observa-se que a classificação pelo índice CEI nesta área de estudo foi significativamente inferior em todas as comparações realizadas. Entretanto, os resultados contidos na Tabela 4, onde foram realizados os testes de hipóteses utilizando a aproximação normal da estatística Z ($\alpha = 5\%$), pode-se verificar o valor - p 0,0076 ($Z = -2,43$), demonstrando superioridade em relação àquela estimativa obtida pela imagem NDVI/MODIS.

CONCLUSÕES

As classificações utilizando imagens do TM/Landsat-5 apresentaram os melhores desempenhos nos resultados de estimativas de áreas de soja;

De modo geral o desempenho de classificação em todos os produtos MODIS apresentaram os mais baixos valores de *Kappa* e de exatidão global;

A classificação utilizando a imagem EVI/MODIS apresentou uma boa estimativa de áreas e não obteve diferenças significativas em relação à classificação EVI/TM pelo teste de hipóteses;

A utilização dos componentes principais apresentou resultados de mapeamento superior aos demais, exclusive quando utilizado apenas a imagem monotemporal TM;

Embora a utilização do sistema-sensor Terra/MODIS demonstrou resultados de estimativas de áreas com menor desempenho, ainda é aconselhável sua utilização, tendo em vista a alta resolução temporal e total ausência de nuvens, que neste caso é uma boa alternativa para estimar áreas de soja. Já as imagens TM são raras, devido sua resolução temporal e consequente frequência de cobertura de nuvens na época do cultivo da soja.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de estudos.

ABSTRACT: The soybean has favorable characteristics for its identification and mapping through interpretation of remote sensing images. This paper aims compare the mapping results of this culture by interpretation of TM/Landsat-5 and MODIS/Terra images for the crop-year 2010/11. The study area was the town of Maracaju, Mato Grosso do Sul, Brazil, the larger producer of soybeans in the state. Eight MODIS/Terra images were acquired in 2010, four in 2011 and one TM/Landsat-5 in 2011, comprising the period from soybean cultivation in the region. With thematic maps of soybean areas, of which follows: principal components of mono temporal TM image with their respective MODIS NDVI's and EVI's, through the Max Ver classifier; addition we calculated the CEI index, which in the process of slicing the pixel areas were obtained from soybeans. The classifications using TM/Landsat-5 bands showed excellent estimates of soybean areas, indicated by the metrics validation *Kappa* and overall accuracy. In the method CEI index presented inferiority before the other estimates are they only over area estimation obtained by the mono temporal NDVI/MODIS image.

KEYWORDS: Agricultural areas. CEI. Vegetation index. Main components.

REFERÊNCIAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Boletim, Décimo Segundo Levantamento, Setembro, 2011, 41p.

DAI, X.; KHORRAM, S. The effects of image mis registration 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.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro:Embrapa/CNPQ, 2006. 306 p.

GLCF. **Geo cover Technical Guide**. Produced by University of Maryland/USA, 2004. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/>>. Acesso em: 27/07/2012.

- HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisas agropecuárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002, v. 6, 96p. (Série relatórios metodológicos).
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&u=4705&z=t&o=4&i=P>>. Acesso em: ago. 2012.
- IPPOLITI-RAMILO, G. A.; EPIPHÂNIO, J. C. N.; SHIMABUKURO, Y. E. Landsat 5 thematic mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 24, n. 7, p. 1.521-34, 2003.
- JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 2009. 608p.
- LAMPARELLI, R. A. C.; WASTE M. O. C; MARCANTE, E. Mapeamento de semeaduras de soja (*Glycinemax* (L.) Merr.) mediante dados MODIS/Terra e TM/Landsat 5: Um Comparativo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 334-344, 2008.
- LUIZ, A. J. B. Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 181-188.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. 4a.ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 422p.
- NOVAES, M. R.; BERNARDES, T.; FRANÇA, D.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. Dados mono e multi-temporais MODIS na estimativa da área plantada com soja no estado do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 317-323.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.
- RIZZI, R.; RISSO, J.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERNANDES, S. L. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 387-394.
- 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.
- VERMOTE, E. F; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.
- XIAO, X.; BOLES, S.; FROLKING, S.; SALAS, W.; MOORE, B.; LI, C.; HE, L.; ZHAO, R. Landscape-scale characterization of cropland in China using VEGETATION sensor data and Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 23, n. 18, p. 3.579-94, 2002.