

Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS

Rodrigo Rizzi¹
Joel Risso¹
Rui Dalla Valle Epiphanyo²
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff³
Antônio Roberto Formaggio³
Yosio Edemir Shimabukuro³
Sérgio Leal Fernandes¹

¹ Universidade Federal de Pelotas – UFPel
Caixa Postal 354 - 96001-970 - Capão do Leão - RS, Brasil
rodrigo.rizzi@ufpel.edu.br, joelrisso@gmail.com, slealfernandes@uol.com.br

² Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Sensoriamento Remoto
ruiep@yahoo.com.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bernardo, formag, yosio}@dsr.inpe.br

Abstract. Brazil is one of the world's largest soybean exporters and accurate agricultural statistics on soybean crop production are highly relevant. In this paper we present a method based on a specific vegetation index named Crop Enhancement Index (CEI), derived from the multitemporal MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Enhanced Vegetation Index (EVI) product, in order to provide rapid soybean crop area estimation in Mato Grosso State. The proposed CEI is based on minimum and maximum EVI values observed at planting and at full crop canopy development, respectively. Soybean crop was classified based on a CEI threshold which is greater than 0.28, i.e., a pixel above this threshold will be classified as soybean. The threshold was defined using a reference map produced with Landsat-TM images acquired in mid January of 2006 (soybean peak canopy development) and with the support of field work carried out during the same period. Estimated soybean area by CEI was in agreement with the estimated area by the referenced map for the crop year 2005/06. CEI estimates were also in agreement with the State official statistics for five crop years (2001/02 to 2005/06). The almost-daily temporal resolution of MODIS imagery was crucial to define the CEI with at least one cloud free image for each of the two critical periods during the soybean crop growing season. Although the proposed procedure was applied to soybean crop, it also seems to be valuable to detect and map other large crop plantations with well defined crop calendars.

Palavras-chave: agricultural statistics, vegetation indexes, remote sensing, estatísticas agrícolas, índices de vegetação, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O setor agropecuário brasileiro possui expressiva participação nas exportações, sendo um dos principais responsáveis pelo superávit da balança comercial nos últimos anos. Somente em 2007, o saldo da balança comercial do agronegócio encerrou o ano com um recorde de US\$ 49,7 bilhões (MAPA, 2008), atestando sua aptidão para a geração de divisas para o País. Especificamente no caso da soja, o Brasil é um dos principais exportadores desta *commodity*, com um montante exportado aproximado de 26 milhões de toneladas na safra 2007/08 (USDA, 2008). Atualmente, o Estado do Mato Grosso é responsável por cerca de 30% da produção nacional de soja, com uma área plantada oscilando em torno de 6 milhões de hectares nos últimos anos (IBGE, 2008).

A disponibilidade de informações confiáveis e em tempo oportuno acerca da safra agrícola é importante para o setor agropecuário com vistas a garantir a geração de divisas para o país sem comprometer o abastecimento do mercado interno. Estas informações podem

também minimizar o efeito negativo das especulações, além de nortear corretamente importantes decisões do governo e de toda cadeia produtiva. Contudo, o levantamento oficial da safra agrícola é atualmente realizado de forma subjetiva, envolvendo técnicos de órgãos e entidades do setor agrícola que participam dos colegiados de estatísticas agropecuárias em nível estadual, regional e municipal (IBGE, 2007).

As imagens adquiridas por sensores remotos a bordo de satélites, particularmente as imagens de média resolução espacial, se apresentam como uma alternativa para o desenvolvimento de novos métodos capazes de fornecer informações objetivas, confiáveis e em tempo hábil sobre a área plantada com culturas agrícolas. No entanto, a freqüente cobertura de nuvens por ocasião da safra tem limitado a aplicação destas imagens (Ippoliti-Ramilo et al., 2003) e poucos trabalhos relatam seu uso para estimativa de área cultivada em grandes regiões (Rizzi & Rudorff, 2005; D'Arco, 2007) ou até mesmo com uma conotação operacional (Rudorff et al., 2005).

Entretanto, com o lançamento do sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* - <http://modis.gsfc.nasa.gov>), a bordo dos satélites Terra (em 18/12/1999) e Aqua (em 04/05/2002), iniciou-se uma fase promissora em termos de monitoramento da atividade agrícola em grandes áreas por meio dessas imagens. Sua freqüência de observação quase diária permite a geração de imagens compostas em um período maior (e.g. 16 dias). Isto aumenta enormemente a possibilidade de obtenção de imagens livres de nuvem. Além disso, a grande acuidade radiométrica e geométrica, aliadas a uma resolução espacial de 250 m, dão forte alento para a potencialidade das imagens do sensor MODIS na identificação e quantificação de áreas agrícolas, particularmente em regiões onde o tamanho médio dos talhões supera uma centena de hectares.

Este trabalho objetivou avaliar o potencial das imagens MODIS, via aplicação do índice de vegetação CEI (*Crop Enhancement Index*), na identificação e estimativa da área plantada com soja, visando desenvolver uma metodologia ágil, simples e operacional capaz de dar suporte ao atual sistema oficial brasileiro de levantamento de safras agrícolas nacional.

2. Metodologia

A área escolhida como estudo de caso compreende o Estado do Mato Grosso, situado entre as latitudes S 07° 10' e S 18° 00' e as longitudes W 50° 00' e W 61° 05'. Na estimativa da área de soja foram utilizadas imagens compostas de 16 dias¹ do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, mais especificamente o produto MOD13Q1 coleção 5.0, com resolução espacial de 250 m, sob a forma do índice de vegetação denominado EVI (*Enhanced Vegetation Index*), proposto por Huete et al. (1997). O EVI foi formulado a partir de uma combinação de outros dois índices de vegetação: o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*; Huete, 1988) e o ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*; Kaufman & Tanré, 1992); tendo a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, de acordo com a Equação 1:

$$EVI = G * \frac{IVP - V}{IVP + C_1 * V - C_2 * A + L} \quad (1)$$

em que: IVP = reflectância no infravermelho próximo; V = reflectância no vermelho; A = reflectância no azul; C₁ = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho (6); C₂ = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul

¹ Neste caso, uma imagem MODIS não se refere a uma data, mas sim a um período que tem início nesta data. Então, é composta uma imagem contendo os *pixels* de melhor qualidade radiométrica e geométrica observados durante este período (Huete et al., 1999).

(7,5); L = fator de correção para a interferência do solo (1); G = fator de ganho (2,5). Os coeficientes C_1 e C_2 podem ser alterados de acordo com condições regionais, sendo que os produtos disponibilizados pelo EOS (*Earth Observing System*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) utilizam as especificações acima. Além disso, o EVI tem se mostrado mais sensível às alterações na biomassa vegetal em relação aos índices utilizados até então, sobretudo em regiões de alta densidade de vegetação, como florestas (Huete et al., 2002). Isto aumenta o contraste entre as áreas de floresta e aquelas contendo cultivos agrícolas, facilitando a distinção entre tais áreas em uma imagem EVI.

A abordagem utilizada no presente trabalho para a identificação das áreas de soja leva em conta o comportamento temporal do EVI sob o monitoramento da cultura ao longo do seu ciclo de crescimento e desenvolvimento e o calendário agrícola da região em estudo. O valor mínimo do EVI (MinEVI) para as áreas de soja ocorre na fase que antecede a semeadura ou quando a cultura ainda está em fase inicial durante a emergência. Neste período, a resposta espectral predominante é do solo exposto e os valores de EVI observados nas imagens são baixos. Já o valor máximo do EVI (MaxEVI) é observado justamente durante a fase de máximo desenvolvimento da cultura, quando a resposta espectral é função, principalmente, da ampla cobertura do solo pela cultura e da elevada biomassa, o que implica em altos valores de EVI nas imagens. O CEI (Equação 2) tem por base a diferença entre o MaxEVI e o MinEVI.

$$CEI = G * \frac{(MaxEVI + S) - (MinEVI + S)}{(MaxEVI + S) + (MinEVI + S)} \quad (2)$$

em que: MaxEVI = valor máximo de EVI² 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 (10²); G = fator de ganho (10²). Os valores de CEI podem variar numericamente entre -1 e 1. Desta forma, grandes diferenças positivas entre o Max e o MinEVI observados ao longo da safra da soja retornam altos valores de CEI e indicam grande probabilidade de um pixel representar a cultura e vice-versa. Áreas não cultivadas ou de floresta apresentam pouca ou nenhuma variação na biomassa no mesmo período, o que resulta em valores de CEI próximos a zero. Já áreas com maior biomassa na época do MinEVI em relação à época do MaxEVI da soja (e.g. áreas desflorestadas) apresentam valores de CEI negativos. Em suma, o CEI pode ser empregado para detectar qualquer tipo de cultura agrícola, desde que o seu calendário seja conhecido e bem definido em uma determinada região.

Uma questão relevante a ser destacada é a necessidade da utilização de um período maior do que aquele representado por uma única imagem MODIS para a avaliação dos máximos e mínimos valores de EVI e a conseqüente formação das imagens MinEVI e MaxEVI. Isto se faz necessário para evitar que talhões de soja eventualmente implantados muito precoce ou tardiamente (por razões meteorológicas, varietais etc) venham a ter seus máximos e mínimos valores de EVI não incluídos nas respectivas imagens a que estes extremos se referem. Obviamente, os períodos utilizados para se obter tais valores devem ser criteriosamente definidos a partir do calendário agrícola de modo a priorizar ao máximo a cultura de interesse para evitar a inclusão de outros alvos que possuam grande incremento de biomassa. No caso específico deste trabalho, foram utilizadas imagens correspondentes aos meses de agosto a novembro (dias do ano 241 até 305) e novembro a fevereiro (dias do ano 321 a 49) para a composição das imagens de MinEVI e de MaxEVI, respectivamente (Figura 1). Outras culturas de grande interesse econômico existentes no estado são algodão e milho. A

² Embora os valores de EVI dos produtos MODIS sejam distribuídos com um fator multiplicativo igual a 10.000, a formulação do CEI está baseada na variação teórica do EVI entre -1 e 1.

semeadura destas culturas está concentrada, principalmente, no final de janeiro e o pico de desenvolvimento ocorre em meados de março. A cana-de-açúcar não causa problema de confusão com a soja devido à diferença no comportamento espectral entre estas culturas, pois o MaxEVI da soja é bem maior do que o MaxEVI da cana-de-açúcar. Desta forma, os valores de MinEVI e de MaxEVI para tais culturas não são coincidentes, no tempo, com os da soja, além de serem consideravelmente diferentes. A Figura 1 representa o comportamento temporal do EVI para áreas de soja implantadas precoce e tardiamente, além dos períodos utilizados na formação das imagens de MinEVI e de MaxEVI.

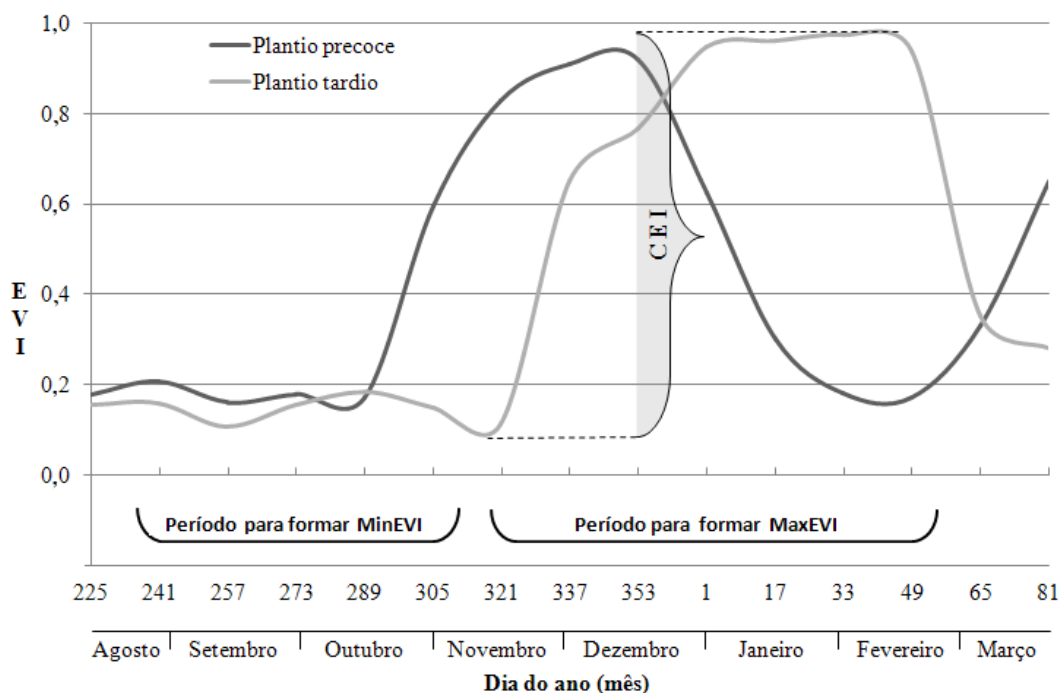


Figura 1. Comportamento temporal do EVI para áreas de soja implantadas precoce e tardiamente e os períodos considerados para formar as imagens de MinEVI e de MaxEVI.

Uma consideração adicional deve ser feita acerca da escolha dos períodos utilizados para formar as imagens de MinEVI e de MaxEVI. Ainda que as imagens MODIS utilizadas representem teoricamente os pixels de melhor qualidade observados em um período de 16 dias, não necessariamente a totalidade deles está livre de cobertura de nuvens ou de falhas inerentes ao processo de seleção dos pixels para a composição da imagem pelo algoritmo. Em outras palavras, as imagens MODIS compostas podem apresentar regiões com valores de EVI baixos ou altos que podem não corresponder às áreas de soja em fase de pré-semeadura ou máximo desenvolvimento, respectivamente. Em função disso, além de serem priorizadas as épocas de menor cobertura de nuvens, deve ser feita uma criteriosa análise visual de modo a excluir as imagens e/ou os pixels em que forem identificados problemas desta ordem. Já que tais fatores podem comprometer a correta identificação das lavouras e, conseqüentemente, a estimativa da área plantada. Pelos motivos expostos acima, as imagens referentes aos períodos que iniciam nos dias do ano 321 da safra 2001/02, 33 da safra 2003/04 e 257 da safra 2005/06 foram excluídas da análise do presente trabalho.

O dado de referência utilizado foi um mapa temático produzido por Epiphanyo (2007) a partir de uma criteriosa interpretação visual de imagens do sensor TM/Landsat adquiridas na fase de máximo desenvolvimento da soja, que favorece muito a correta identificação das

lavouras. A interpretação visual das imagens teve por base o comportamento multiespectral característico da soja, além de informações obtidas *in loco*, de modo que este mapa viesse a representar o mais fielmente possível a distribuição espacial das lavouras de soja para 30 áreas de 30 x 30 km localizadas em regiões de intenso cultivo de soja do Estado do Mato Grosso na safra 2005/06 (Epiphany, 2007). Esse mapa de referência serviu inicialmente para definir o perfil temporal do EVI do MODIS e os períodos utilizados na formação das imagens MinEVI e MaxEVI. Posteriormente, o mapa de referência serviu para estabelecer um limiar de CEI acima do qual os pixels são classificados como soja. Ou seja, nesta fase a imagem CEI referente à safra 2005/06 foi sobreposta ao mapa de referência e as duas informações foram criteriosamente analisadas. A partir deste procedimento foi possível determinar um valor de CEI (0,28) acima do qual os pixels correspondem às áreas de soja. Segundo este critério, foi gerado um mapa temático contendo os temas *soja* e *não soja* para toda a área de estudo.

Então, definidos os períodos adequados para a composição das imagens MinEVI e MaxEVI e estabelecido o limiar de CEI representativo das áreas de soja, foram geradas as imagens CEI a partir das imagens MODIS/EVI referentes às safras 2001/02 a 2005/06, com conseqüente geração dos respectivos mapas de soja. Em seguida, para eliminar pixels isolados e erroneamente classificados devido, provavelmente, às imperfeições inerentes à formação das imagens de MinEVI e/ou de MaxEVI, foi aplicado um filtro de moda com janela móvel de 5 x 5 pixels sobre o mapa de soja final. Posteriormente, o mapa de soja resultante da metodologia CEI para a safra 2005/06 foi espacialmente comparado ao mapa de referência. Afora isto, a área plantada com soja estimada em cada uma das cinco safras analisadas foi comparada àquela oriunda da estatística agrícola disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE).

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 estão apresentadas as imagens de MinEVI e de MaxEVI, a imagem CEI e o mapa de soja para o Estado do Mato Grosso para a safra 2005/06, bem como a localização da área de estudo.

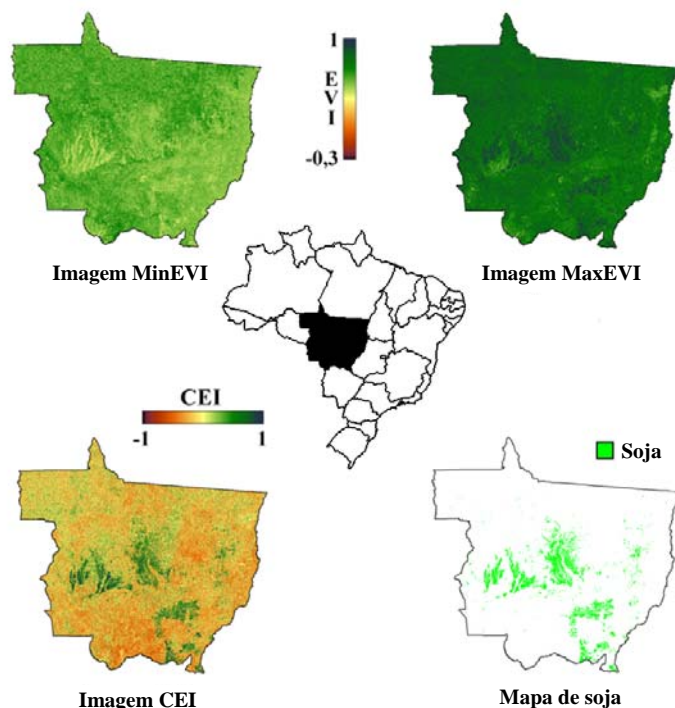


Figura 2. Imagens de MinEVI e de MaxEVI, imagem CEI e o mapa temático de soja para a safra 2005/06 e a localização da área de estudo. As imagens de MinEVI e de MaxEVI foram utilizadas para gerar a imagem CEI, cujo fatiamento resultou no mapa de soja.

A partir da comparação espacial entre o mapa de referência e aquele provindo da imagem CEI, puderam ser identificadas as áreas corretamente classificadas e os erros de omissão e inclusão. Além disso, computou-se a área de soja nas regiões de abrangência dos 30 segmentos de 30 x 30 km que contemplam o mapa de referência. Neste caso, as áreas corretamente classificadas pela metodologia CEI nos temas *soja* e *não soja* perfizeram 91% e os erros de omissão e inclusão foram de 6,1 e 2,9%, respectivamente. Entretanto, a diferença na estimativa da área plantada pela metodologia CEI (1.092.659 ha) frente ao dado de referência (1.164.047 ha), e que de fato tem maior importância no que tange às estatísticas agrícolas, foi de 71.388 ha, que corresponde a uma diferença de apenas 6,1%. Cabe ressaltar que, a despeito da subestimativa na área plantada por parte da metodologia CEI, esta teve por base imagens de resolução espacial muito inferior ao dado de referência, além de não ter sido objeto de qualquer alteração no mapa final com base em análise visual das imagens.

Na análise comparativa das cinco safras estudadas, a estimativa da área de soja a partir das imagens MODIS, em nível estadual, mostrou boa concordância com os valores correspondentes oriundos da estatística oficial do IBGE (Figura 3). Percebe-se claramente que a abordagem CEI conseguiu representar o incremento no valor de área plantada observado pelo IBGE desde a safra 2001/02 até 2004/05. Na safra 2005/06, a estimativa do IBGE apresentou certa redução na área plantada com a cultura em relação à safra anterior, possivelmente provocada por questões mercadológicas no negócio agrícola, sendo que a abordagem CEI também apontou para um decréscimo muito similar na área plantada.

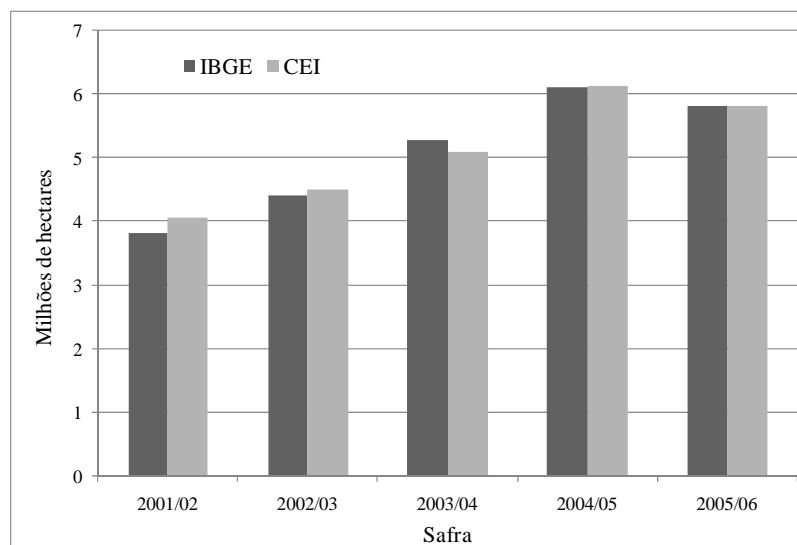


Figura 3. Área de soja estimada por meio da metodologia CEI via imagens MODIS e pelo levantamento oficial do IBGE para o Estado do Mato Grosso, safras 2001/02 a 2005/06.

A metodologia aqui apresentada para estimativa de área plantada faz jus a algumas assertivas adicionais acerca da sua viabilidade de utilização em sistemas de estimativa de safras agrícolas. Um ponto a ser destacado é a disponibilidade das informações geradas em tempo oportuno. As imagens MODIS compostas, via de regra, são disponibilizadas pelo EOS cerca de uma semana após o término do período de 16 dias a que estas se referem. Como a abordagem CEI requer a utilização de imagens adquiridas somente até o período reprodutivo da cultura, as informações sobre a área plantada podem ser obtidas enquanto a safra em questão ainda transcorre, ou seja, com previsão. Visto que a metodologia pode ser aplicada rapidamente para grandes regiões em uma rotina computacional automatizada.

Outra questão peculiar à utilização de imagens de sensoriamento remoto na estimativa da área plantada com culturas agrícolas e que não se verifica em se tratando dos métodos tradicionais é que, além do valor da área plantada, obtém-se um mapa com a localização geográfica das lavouras. Como consequência, podem ser identificadas regiões onde existe considerável incremento ou redução na área plantada em relação à safra anterior, onde os órgãos oficiais podem então fazer avaliações mais detalhadas com vistas a melhorar a qualidade das estimativas.

Tais considerações reforçam a idéia de que a metodologia ascende como uma importante ferramenta capaz de dar suporte ao atual sistema oficial de levantamento de estatísticas agrícolas para a soja. Reitera-se que o emprego da metodologia proposta no Estado do Mato Grosso só foi possível devido à disponibilidade de imagens livres de nuvens selecionadas entre as passagens diárias do satélite Terra sobre a região de estudo, bem como à alta qualidade geométrica e radiométrica das imagens MODIS.

4. Conclusões

A abordagem exposta neste trabalho tem por base a disponibilidade de imagens de alta resolução temporal geradas pelo sensor MODIS, o calendário agrícola e a variação espectro-temporal das culturas. Tal metodologia demonstrou grande potencial para identificação, mapeamento e estimativa da área de culturas em grandes regiões de forma rápida e em tempo oportuno, particularmente aquelas culturas que possuem um calendário agrícola bem definido e conhecido, mesmo em regiões em que se verifica alta incidência de cobertura de nuvens durante a safra agrícola.

5. Referências Bibliográficas

- D'Arco, E. **O uso de geotecnologias para estimativas da área plantada de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul**. 2007-03-16. (INPE--T/). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.18.14.08>>. Acesso em: 22 set. 2008.
- Epiphanyo, R. D. V. **Avaliação da potencialidade das imagens MODIS na estimação da área de soja no estado do Mato Grosso**. 2007-05-07. 102 p. (INPE-15190-TDI/1299). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/07.18.12.27>>. Acesso em: 22 set. 2008.
- Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.
- Huete, A.; Justice, C.; Leeuwen, W. V. **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**, 1999. Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>. Acesso em: 13 set. 2008.
- Huete, A.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Leween, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440-451, 1997.
- IBGE – Instituto Nacional de Geografia e estatística. **Notas técnicas – Produção agrícola municipal, Cereais, leguminosas e oleaginosas, 2007**. 2007. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamclo/2007/notatecnica.pdf>. Acesso em: 11 out. 2008.
- IBGE – Instituto Nacional de Geografia e estatística. **Levantamento Sistemático da Produção agrícola**, safra 2005/06. 2008. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: ago. 2008.
- Ippoliti-Ramilo, G.A.; Epiphanyo, 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**, v. 24, n. 7, p. 1521-1534, jul. 2003.
- Kaufman, Y.J.; Tanré, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Symposium. **Proceedings...** v. 30, p. 261-270, 1992.
- MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Superávit da balança do Agronegócio de 2007 é o maior da história com quase US\$ 50 bi**. 2008. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/pubacs_cons/ap_detalhe_noticia_cons_web?p_id_publicacao=11059&ds_palavra_chave=balancacomercial&dt_inicio_publicacao=01/01/1900&dt_fim_publicacao=31/12/9999>. Acesso em: 30 out. 2008.
- Rizzi, R.; Rudorff, B.F.T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57 n. 3, p. 226-234, 2005. <http://www2.prudente.unesp.br/rbc/_pdf_57_2005/57_3_06.pdf>
- Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Moreira, M. A.; Duarte, V.; Xavier, A. C.; Rosa, V. G. C.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de satélites no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 21-39, jan./jun. 2005.
- USDA - United States Department of Agriculture. **USDA Foreign Agricultural Service: Production, Supply & Distribution**, 2008. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdhome.aspx>>. Acesso em: 18 set. 2008.